

20
周年
增扩版

Science Teaching

The Contribution of History and Philosophy of Science

科学教学—— 科学史和科学哲学的贡献

Michael R. Matthews (澳大利亚) 著

刘恩山 郭元林 黄晓 译



外语教学与研究出版社

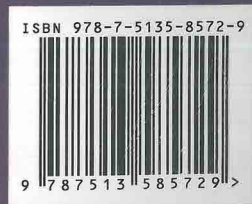
Science Teaching
The Contribution of History
and Philosophy of Science

20
周年
增扩版

科学教学——
科学史和科学哲学的贡献

Michael R. Matthews (澳大利亚) 著
刘恩山 郭元林 黄晓 译

外研社
Routledge



定价: 128.00 元

《科学教学》一书阐述了科学史和科学哲学如何为科学教育中长期存在的理论、课程和教学法问题提供解决方案。本书论述了为什么科学教师需要了解他们所教学科的科学史和科学哲学方面的知识, 以及这些知识如何丰富科学教学, 激发学生对科学的热爱。通过历史视角, 本书向学生、教师和研究人员揭示了科学知识的基础, 科学与哲学、形而上学和数学之间的关系, 以及科学与重大社会事件(包括欧洲启蒙运动)之间的关系。本书深入解读了关于建构主义、世界观和科学、科学教育中的多元文化、探究教学、价值观、教师教育等观点。20周年增扩版中新增了四个章节——启蒙传统, 约瑟夫·普里斯特利与光合作用, 科学、世界观和教育, 科学的本质; 本书还包括 1,300 篇参考文献, 为该领域的教学和学习提供了坚实的基础。



记载人类文明
沟通世界文化
www.fltrp.com

Routledge
Taylor & Francis Group

责任编辑 周少贞
封面设计 李双双



20
周年
增扩版

Science Teaching

The Contribution of History and Philosophy of Science

科学教学—— 科学史和科学哲学的贡献

Michael R. Matthews (澳大利亚) 著
刘恩山 郭元林 黄晓 译

外语教学与研究出版社
北京



京权图字：01-2016-8508

© Science Teaching: The Contribution of History and Philosophy of Science, 20th Anniversary Revised and Expanded Edition, 2nd Edition by Michael R. Matthews

© 2015 Taylor & Francis

Authorized translation from the English language edition published by Routledge, a member of the Taylor & Francis Group; All rights reserved.

本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下的 Routledge 出版公司出版，并经其授权翻译出版。版权所有，侵权必究。

Foreign Language Teaching and Research Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout the mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体翻译版由外语教学与研究出版社在中国大陆地区独家出版、发行。未经书面许可，任何人不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签，无标签者不得销售。

图书在版编目 (CIP) 数据

科学教学：科学史和科学哲学的贡献：汉、英 / (澳) 迈克尔·马修斯 (Michael R. Matthews) 著；刘恩山，郭元林，黄晓译。—北京：外语教学与研究出版社，2017.3 (2017.6 重印)

ISBN 978-7-5135-8572-9

I. ①科… II. ①迈… ②刘… ③郭… ④黄… III. ①科学史学—研究—汉、英 ②科学哲学—研究—汉、英 IV. ①N09②N02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 053388 号

出版人 蔡剑峰
项目负责 章思英 刘晓楠
项目策划 丛 岚
责任编辑 周少贞
封面设计 李双双
版式设计 李双双
出版发行 外语教学与研究出版社
社 址 北京市西三环北路 19 号 (100089)
网 址 <http://www.fltrp.com>
印 刷 北京京华虎彩印刷有限公司
开 本 787×1092 1/16
印 张 30.5
版 次 2017 年 4 月第 1 版 2017 年 6 月第 2 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5135-8572-9
定 价 128.00 元

购书咨询：(010) 88819926 电子邮箱：club@fltrp.com

外研书店：<https://waiyants.tmall.com>

凡印刷、装订质量问题，请联系我社印制部

联系电话：(010) 61207896 电子邮箱：zhijian@fltrp.com

凡侵权、盗版书籍线索，请联系我社法律事务部

举报电话：(010) 88817519 电子邮箱：banquan@fltrp.com

法律顾问：立方律师事务所 刘旭东律师

中咨律师事务所 殷 斌律师

物料号：285720001

参与翻译工作人员名单

刘恩山 郭元林 黄 晓
李 诺 邴 杰 赵萍萍
黄 瑄 周丐晓 刘欣颜



译者序

在过去的十年间，科学史的内容已经悄然进入了诸如中学生物学等理科课堂。然而对于绝大多数的理科教师和教师教育工作者来说，科学哲学依然是一个相当陌生的领域。也许正是由于这个原因，科学哲学的内容要素还没有进入理科教师教研工作的话语体系和他们授课的讲堂。

科学哲学史是哲学领域中专门研究科学的一个方向。具体说，科学哲学要思考科学家是怎样构建科学知识并使科学能够明确区别于其他领域的工作。当今，自然科学在物质科学、生命科学、地球与空间科学等诸多方向上积累了先进的、令人瞩目的知识，是什么使得自然科学的工作独一无二？科学哲学致力于研究科学本身和与科学方法相关的问题。它要回答的问题包括：为何要开展科学工作以及如何开展科学工作？为什么科学方法是好的方法？当然，它还要探讨知识的本质特征。所有这些都是自然科学领域奠基性的问题。从实践的角度而言，科学哲学几乎可以认为是科学方法的同义词，它也是科学家持有和遵从的思想和信念。当中国的科学教育工作者将“科学观念”、“理性思维”和“科学探究”作为高中理科课程的核心素养和课程宗旨之后，科学哲学也就成为理科教师不可忽视的专业基础。正如诺贝尔物理奖得主理查德·费曼（Richard Feynman）所说，科学哲学对于科学家之重要，有如鸟儿关乎鸟类学。同样，科学史和科学哲学对理科教师之重要，有如水分和土壤关乎植物的生长。

本书的作者是澳大利亚新南威尔士大学教育学院荣誉副教授迈克尔·马修斯。他是国际期刊《科学与教育》的创始主编，在科学教育、科学史与科学哲学方面具有丰富的培训经验和教学经验，并在相关领域发表过大量文章。2010年，马修斯因在科学史教学领域的突出贡献，荣获了美国科学史协会颁发的Joseph H. Hazen教育奖。几年前，马修斯先生在北京师范大学做学术专题报告，他的学术思想和研究成果给科学教育专业的老师和研究生留下了深刻的印象，也激发了我对科学哲学融入科

学课堂的兴趣。衷心感谢马修斯先生将这一专著分享给中国科学教育工作者！我和我的团队也为能够参与这本书的翻译工作而感到荣幸！

“科学史和科学哲学（HPS）”是近年来国际科学教育领域的一个研究热点。本书围绕科学教学中的重要概念和主题，阐释了如何利用科学史和科学哲学解决科学教学中的问题，丰富科学课堂教学，激发学生学习兴趣，促进学生对科学的深层理解。本书涉及科学史、科学哲学和科学教育之间的关系，科学教育中的启蒙传统，科学课程的发展历程，科学课程和课堂教学中的科学史与科学哲学，建构主义和科学教育，科学的本质和教师教育等内容。书中列举了大量的科学史和科学哲学应用于科学教学的案例，对于科学教师和教研员而言，这既是关于HPS的启蒙读本，又是HPS用于课堂的教学指南，对加深科学教师对理科教学的理解，提高科学教师的教学技能，都有难以替代的价值。

《科学教学——科学史和科学哲学的贡献》在1994年首次出版，2014年8月出版20周年纪念版，在这一版中增加了四个新的章节，更新和扩充了原有内容，更符合现今科学教育领域的发展现状。

此书十分适合以下人员认真研读：1. 科学教育、科学史、科学哲学等相关领域的研究人员；2. 高等院校和科研机构的科学研究人员；3. 师范院校科学教育相关专业的本科生和研究生；4. 中小学理科教师、教研员和校长等。

目前，在科学史和科学哲学应用于科学课堂的图书中，国内还鲜有基于长期研究和实践、充分展示理论基础并聚焦实践指导的专著。希望此书的出版能为国内科学教育打开一扇连通HPS的窗户，为教师教育和一线教研人员带来新鲜空气，助推科学课堂教学的理论和实践走上更高的平台。

此书的翻译由科学哲学专业人员和科学教育人员密切合作，在充分交流的基础上协同完成。尽管如此，由于此书涉及诸多学科领域和不同文化背景，译文中仍可能存在个别纰漏，敬请读者指正。

感谢外语教学与研究出版社在此书的选题确认、版权协调及出版编辑过程中给予的鼎力支持和帮助！

刘恩山

科学教学

“这是一本极具变革力的书。它将历史与哲学应用于科学课堂，极具启发性。任何一个对科学教学和科学文化感兴趣的人都不应该错过这部新版的经典作品。”

阿尔贝托·科德罗 (Alberto Cordero)，哲学专业
美国纽约市立大学研究生院与皇后学院

“本书的重要性绝不仅仅体现在科学教育上。它包含了诸如建构主义对教育的影响等众多主题，这就使得本书的重要性得到更为广泛的认同。我强烈推荐那些对教与学感兴趣的人阅读此书。”

约翰·斯威勒 (John Sweller)，教育学院
澳大利亚新南威尔士大学

“本书关于单摆的章节简直是杰作！对于那些想要成为科学（特别是物理）教师的人来说，这些内容是必读的！”

里卡多·卡拉姆 (Ricardo Karam)，物理专业
德国汉堡大学

“对于科学教育工作者、决策者和从业者而言，科学教育是要求严谨、不可或缺的资源。”

西贝尔·尔杜然 (Sibel Erduran)，教育学院
爱尔兰利默里克大学

迈克尔·马修斯 (Michael R. Matthews)

澳大利亚新南威尔士大学教育学院荣誉副教授。他是国际期刊《科学与教育》的创始主编；历史、哲学与科学教学国际组织的创会主席；科学史与科学哲学国际联合会国际教学委员会主席。在科学教育、科学史与科学哲学方面具有丰富的培训、教学经验，并在相关领域发表过大量文章。

献给我的女儿：克莱尔、爱丽丝和阿梅莉亚

简明目录

前言 (2014) / IX

前言 (1994) / XIII

致谢 (2014) / XVII

致谢 (1994) / XXI

第一章 科学史、科学哲学与科学教育间的和谐关系 / 1

第二章 科学教育的启蒙传统 / 25

第三章 科学课程的历史和发展现状 / 63

第四章 课程与课堂中的科学史 / 115

第五章 科学与科学课堂中的哲学 / 161

第六章 科学课堂中的历史与哲学——单摆运动 / 222

第七章 科学课堂中的历史与哲学——约瑟夫·普里斯特利与光合作用的发现 / 282

第八章 建构主义与科学教育 / 312

第九章 科学哲学与科学教育的核心问题——实在论与反实在论 / 343

第十章 科学、世界观和教育 / 366

第十一章 科学的本质与科学教学 / 400

第十二章 哲学和教师教育 / 426

目 录

前言 (2014) / IX

前言 (1994) / XIII

致谢 (2014) / XVII

致谢 (1994) / XXI

第一章 科学史、科学哲学与科学教育间的和谐关系 / 1

哲学家、历史学家参与科学教育 / 1

科学史和科学哲学的相互作用 / 4

科学与通识教育 / 5

历史、哲学与技术教育 / 7

科学教育中存在的问题 / 8

神秘现象与伪科学的信仰 / 11

科学评论家 / 14

课程的发展 / 15

结论 / 16

注释 / 17

参考文献 / 18

第二章 科学教育的启蒙传统 / 25

欧洲启蒙运动 / 25

启蒙传统 / 29

教育家约瑟夫·普里斯特利 / 31

恩斯特·马赫：哲学家、科学家与教育家 / 36

实证主义传统 / 40

约翰·杜威 / 49

科学教育和启蒙思想的传播 / 50

结论 / 55

注释 / 56

参考文献 / 58

第三章 科学课程的历史和发展现状 / 63

课程中的自然哲学 / 63

20 世纪 50 年代美国的科学教育 / 65

美国国家科学基金会课程 (20 世纪 50 年代—60 年代) / 68

当代美国课程改革 / 74

英国科学课程改革 / 85

科学—技术—社会课程 / 95

探究式教学和发现式学习 / 96

结论 / 105

注释 / 106

参考文献 / 108

第四章 课程与课堂中的科学史 / 115

历史原因 / 115

美国科学课程的历史：科南特的遗产 / 121

英国科学课程的历史 / 125

关于大气压力的教学 / 127

大气压力科学中的形而上学和物理学 / 132

对科学史的反対 / 138

对科学史的捍卫 / 144

科学史与学习心理学 / 149

结论 / 151

注释 / 152

参考文献 / 153

第五章 科学与科学课堂中的哲学 / 161

科学与哲学 / 161

科学课堂中的哲学：惯性定律 / 164

科学中的思想实验 / 169

科学教学中的思想实验 / 177

科学课堂中的论证与逻辑推理 / 179

科学理性的社会学挑战 / 186

伦理、价值和科学教育 / 190

女权主义理论与科学教育 / 201

结论 / 206
注释 / 207
参考文献 / 210

第六章 科学课堂中的历史与哲学——单摆运动 / 222

单摆与现代科学的基础 / 222
单摆在教科书中的谣传及历史背景 / 223
伽利略对单摆运动的解释 / 225
伽利略的解释存在的问题以及经验主义的限制 / 237
单摆与计时 / 239
惠更斯对国际长度标准的建议 / 242
单摆与地球形状的确定 / 243
牛顿力学中的单摆 / 244
计时作为解决经度问题的方法 / 247
傅科摆与地球自转 / 249
科学的一些特征 / 250
单摆与美国近代科学教育改革 / 268
结论 / 273
注释 / 275
参考文献 / 276

第七章 科学课堂中的历史与哲学——约瑟夫·普里斯特利与光合作用的发现 / 282

对普里斯特利的一些评价 / 283
普里斯特利的生平 / 284
普里斯特利的著作 / 286
普里斯特利与启蒙运动 / 286
普里斯特利发现光合作用的第一步 / 288
普里斯特利发现光合作用的最后几步 / 290
科学的特征 / 292
课堂中的普里斯特利 / 302
结论 / 306
注释 / 307
参考文献 / 308

- 第八章 建构主义与科学教育 / 312
- 建构主义的兴衰 / 313
 - 建构主义的不同形式 / 314
 - 建构主义作为心理学和哲学 / 316
 - 证据的困境 / 319
 - 建构主义认识论及其问题 / 320
 - 建构主义本体论及其问题 / 324
 - 建构主义教学法及其问题 / 329
 - 建构主义的文化后果 / 335
 - 结论 / 337
 - 注释 / 337
 - 参考文献 / 338
- 第九章 科学哲学与科学教育的核心问题——实在论与反实在论 / 343
- 实在论者与反实在论者的分歧 / 344
 - 天文学：天体如何运动 / 345
 - 经典物理学：牛顿的实在论与贝克莱的经验主义 / 351
 - 原子论：实在论者与反实在论者的解释 / 353
 - 一些哲学思考 / 357
 - 结论 / 361
 - 注释 / 362
 - 参考文献 / 363
- 第十章 科学、世界观和教育 / 366
- 科学、哲学和世界观：历史上的发展 / 368
 - 天主教教会原子论的非难 / 372
 - 哲学是宗教和政治的“侍女” / 374
 - 科学与精神世界 / 377
 - 教育和精神世界 / 378
 - 传统的非西方形而上学 / 379
 - 多元文化科学教育 / 381
 - 自然主义 / 384
 - 科学主义 / 386
 - 科学和宗教的兼容性 / 389

结论 / 391

注释 / 393

参考文献 / 394

第十一章 科学的本质与科学教学 / 400

威廉·休厄尔：当代 NOS 争议的先驱 / 402

当前对 NOS 的研究 / 404

HPS 的贡献 / 407

科学的特征 / 414

FOS 的教学目标 / 418

结论 / 419

注释 / 420

参考文献 / 421

第十二章 哲学和教师教育 / 426

教育哲学 / 428

哲学和清晰交流 / 430

适用于科学教育的哲学 / 435

教师教育的哲学状况 / 438

科学教育是自主学科吗？ / 446

结论 / 450

注释 / 451

参考文献 / 451

前言

2014

很荣幸我在1994年出版的《科学教学》可以在二十周年纪念的时机更新、增补得以再版。本书可以持续刊印二十年，说明它是有其值得肯定的价值的。本书的知识背景会在1994年版的序言中加以陈述。如果说哲学思辨是有价值的，那么我庆幸它长时间以来一直保持着其应有的价值。当然，具有“哲学价值”并不意味着“绝对正确”，但它至少足够清晰可以保证读者发现错误所在（关于在交流与论证中要表述清晰这一主题可以参见本书第十二章）。本书第一版的中心主旨在其序言中表述如下：

“尽管有这样或那样的缺陷，科学传统促进了理性、批判性思维和客观性的发展。它逐渐渗透了一种关注证据的态度，并以世界的本质、而非个人及社会的喜恶来发表观点；这就是伯特兰·罗素（Bertrand Russell）提到的‘宇宙虔诚’感。然而这些价值受到了学术界内外的攻击。一些在教育上深具影响力的观点，诸如后现代主义和建构主义，它们对理性和客观性持有抵制态度，认为它们的追求是堂吉珂德式的。这对于科学教学来说的确是一个严峻的挑战。”

“科学传统的生命力，以及它对社会的积极影响，取决于它可以成功地将儿童导向科学的学习成果、科学的方法以及科学的思维过程。想要达到这一点，就需要依靠教师对科学的理解与重视。而科学史与科学哲学恰恰有助于这种理解与重视。”

随后二十年间发生的全球性事件与教育学的发展再次强化了上述主张。大量的美国与欧洲政府报告显示“逃离科学”的现象丝毫没有减弱。诸如利用人类胚胎细胞来获取干细胞、对转基因作物的管控和利用、全球变暖的现实与缓解、清洁能源或核能的管控与使用、儿童疫苗的强制接种等社会性科学议题一直是社会论辩的焦点。正统的科学文化对自然和非科学的世界观有着丰富的理解。然而随着经济与文化的全球化，科

学应具备的普及性和正统科学教学应具有合理性和实用性，正面临着一系列严峻的问题。随着20世纪60年代库恩主义的一声号角，各式各样的后现代主义浪潮顺利进军包括教育学院在内的各大院校，质疑科学教学的传统基础。此外还有许多诸如此类的严峻问题，每一个都涉及哲学的维度。

中东、非洲和印度次大陆充斥着连绵不断的“战争”。这些战争以不同的意识形态为导火索，却配备高科技武器。且不说那些常规炸弹与凝固汽油弹的攻击，每一次秘密袭击、每一份无氧炸弹的使用报告都促使人们关注科学的价值、科学家的职责以及科学教学的目的。想要理解这些事件与议题，并对其做出适当的回应，就需要在一定程度上进行理性、批判性和客观性的分析；坚持不合理的、不加批判的和主观性的思维是无法在这条道路上走下去的。如果课程内容与教学方法可以融入一些科学史与科学哲学（**history and philosophy of science, HPS**），那么这些知识和个人能力（科学思维或科学态度）就可以在科学课堂中得以提升。

自本书第一次出版以来，科学教育课程取得了长足的发展，人们开始明确意识到科学教学中哲学、文化和历史维度对科学教育课程的重要性。在美国，第一版《国家科学教育标准》由美国国家研究委员会（**National Research Council, NRC**）在1996年出版（**NRC 1996**）。该《标准》认可哲学与历史知识在科学教学中的重要地位。在英国，一批杰出的科学教育工作者对英国国家课程以及科学教育在千禧年最恰当的形式进行了反思，并撰写了一份包含十条建议的报告。报告的第六条如下：“科学课程应当给年轻人提供有关科学核心概念的理解，即对有关自然界的可靠知识在过去和现在获取方式的理解”（**Millar & Osborne, 1998, p. 20**）。在欧洲和亚洲的不同国家也有类似的课程标准，希望在学校科学教育中收获更广、更深的成果。

显然，无论是美国国家标准还是英国组织，或是其他国家组织想要实现的目标，都依赖于科学教师对他们所教学科的历史和哲学有足够的了解并充满热情。美国科学教师教育协会（**US Association for the Education of Teachers in Science**）是培养科学教师的专业协会，已经认识到了这些并在他们的意见书中指出：“标准1d条款：初任科学教师培训者应当具备高于美国改革文件中要求的对科学哲学、科学社会学、科学

史所具有的理解水平” (Lederman *et al.* 1997, p. 236)。

以上这些由课程设计者提出的论点与本书第一版提出的论点基本一致。

过去二十年间,随着课程的开发,科学史与科学哲学(HPS)领域以及科学教学(science teaching)(HPS&ST)领域中出现了大量的跨学科研究。这些研究对科学教师面临的以下三类问题提供了帮助:

1. 冲击科学教育的理论问题,例如建构主义者对科学知识的主张、女权主义者的科学评判、本土或当地科学的地位以及这些内容是否应该被纳入科学教育当中、科学与宗教问题、模型在科学中的地位、科学价值以及科学价值与文化价值之间的关系等等。
2. 课程上的问题,如学校科学教学计划的结构、内容和时间安排等。
3. 有关教学法的问题:如何利用历史与哲学材料激发学生的学习动机和学习兴趣,从而学习科学以及与科学相关的知识。

本书自1994年出版以来,关于HPS&ST领域的研究最主要的进展要数期刊《科学与教育:科学史、科学哲学、科学社会学的贡献与教育》的创刊和持续发展。该期刊至今已经刊发了23年,每年发行十期(www.springerlink.com)。总计大约发表了800篇研究文章。2011年,期刊网站的文献下载量达到了108,650篇,值得注意的是大部分的下载来自亚洲。

HPS&ST基础结构的核心是历史、哲学与科学教学国际组织(International History, Philosophy and Science Teaching Group, IHPST)(www.ihpst.net)。该组织一直与期刊保持联络,并于1989年在美国塔拉哈西举行了创立典礼,且持续举办两年一次的学术会议¹,会议精选的论文会发表在该期刊中²。此外,该组织也开启了在拉丁美洲和亚洲两年举办一次会议的计划³。出席这些会议的人员包括教师、教育工作者、历史学家、哲学家和认知科学家等。

现今关于HPS&ST学术展现出的活力与国际研究在《历史、哲学与科学教学研究国际手册》(Matthews 2014)第三卷第七十六章中进行了阐述。这本手册分为教学法研究、理论研究、全国研究与传记研究等部分,由来自30个国家的125名作者共同完成,包含了11,000篇参考文献。本书提到的一些主题与论辩,在手册中都有更深层更完备的叙述。

本书有三个主要目的:其一,向教育工作者展示HPS是一个多么有趣迷人的主题,而且这个主题可以有效地帮助他们理解工作中遇到的很

多理论上的、课程上的或者教学法上的问题；其二，使历史学家和哲学家认识到，他们的专业知识、学识可以用于科学教育论辩、课程发展与课堂教学；其三，在科学教师中培养一种“科学与哲学传统可以产生巨大的国际、社会与文化影响”的归属感与成就感。每个人都应该记住，没有科学教师，世界上就不会有科学。我竭尽所能地在讨论中提及一些重要的学者，如亚里士多德、伽利略、惠更斯、牛顿、普里斯特利、马赫等提出的一些语录，正因如此，他们的言论才能被这个世界听到。虽然这些名字已经被太多的人熟知，但他们说过的话却并没有被记住。然而语录虽然很简短，但至少也以这样一种方式证明他们的存在。

迈克尔·马修斯

新南威尔士大学教育学院

澳大利亚，悉尼

2014年2月

丨 注释 丨

1. 会议分别在以下地方举行：明尼阿波利斯 1995、卡尔加里 1997、帕维亚 1999、丹佛 2001、温尼伯 2003、利兹 2005、卡尔加里 2007、巴黎圣母院 2009、塞萨洛尼基 2011 以及匹兹堡 2013。
2. 精选论文集详见：Pavia (Vol.10, Nos. 1-2, 2001)、Winnipeg (Vol.14, Nos. 3-5, 2005)、Leeds (vol.16, nos. 2-4, 2007)、Calgary (Vol.18, Nos. 3-4, 2009)、Notre Dame (vol.20, nos. 7-8, 2011) 和 Thessaloniki (Vol.22, No. 6, 2013)。
3. 巴西 (2010)、阿根廷 (2012)、韩国 (2012) 以及中国台湾 (2014)。

丨 参考文献 丨

- Lederman, N.G., Kuerbis, P.J., Loving, C.C., Ramey-Gassert, L., Roychoudhury, A. and Spector, B.S.: 1997, 'Professional Knowledge Standards for Science Teacher Educators', *Journal of Science Teacher Education* 8(4), 233-240.
- Matthews, M.R. (ed.): 2014, *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, 3 volumes, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Millar, R. and Osborne, J.: 1998, *Beyond 2000: Science Education for the Future*, School of Education, King's College, London.
- NRC (National Research Council): 1996, *National Science Education Standards*, National Academies Press, Washington, DC.

前言

1994

本书希望在科学史与科学哲学以及科学教学之间建立紧密联系，进而能够对科学教学与科学教师教育有所贡献。我相信当科学融入历史与哲学的维度后，科学教学的质量将会有所提高。由此，学校中的情境教学或人文科学教学不仅有益于那些将来会在科学领域进行深造的学生，同样也有益于那些不再接受科学教育的学生。

应当确信的是，“学习科学知识”与“学习关于科学的知识”是相伴而生的，而这一点也正是通往科学教学人文之路的基础。以上这种观点引发了众多学者的论辩，其中包括了恩斯特·马赫（Ernst Mach）、詹姆斯·科南特（James Conant）、杰拉尔德·霍尔顿（Gerald Holton）、约瑟夫·施瓦布（Joseph Schwab）以及马丁·瓦根沙因（Martin Wagenschein）。本书对自由主义传统而言更像是一位尽职的管家：它试图调查上述论辩的历史；列出主要出版物的清单；详述当代的相关研究——特别是关于儿童的科学学习；指出当代科学教育中科学史与科学哲学可以有所贡献的理论与实践问题；说明课程发展中具象化的科学教学人文主义精神；指明科学史与科学哲学如何有效融入教师培训中。

按照约翰·洛克（John Locke）的说法，本书就像是花园中从事基层劳动的园丁，犁沟已经翻好，种子也已播下。借此也希望后来人可以为这片花园浇水、翻开犁沟、种下其他种子并且除掉其间的杂草。如果本书能够激发中小学与高校科学教师对科学史与科学哲学的兴趣，能够鼓舞历史学家、哲学家和科学社会学家关注甚至投身于科学教育，那么本书就达到了它的第一个目的；如果本书能够帮助HPS学习融入科学教师教育中，那么它就达到了它的第二个目的；如果本书激发了科学教育工作者对教学理论的兴趣，那么它就达到了它的第三个目的。

本书认为科学教师应当具备三种能力：第一，科学知识与科学鉴赏力；第二，对HPS有一定的理解力，以便他们能够有效处理自己所教的学科并把该学科教好，并对科学课程中出现的理论与教育论辩做出明智

的评价；第三，知道一些教育理论或教育观点，以便改善课堂活动以及他们与学生的关系，并为自己在教学法中所做的努力提供基本的原理与目的。科学教师对学生的全面教育有促进作用，因此他们应当对“什么是教育”以及“教育的目标是什么”有适当的、规范的观点。来自社会的压力越是贬低教育的智慧传统与批判传统，教师就越应该重视教育所具有的珍贵价值。

社会上普遍认为西方科学教育正处于危机时期，公民科学素养水平之低令人惶恐。事实上，这是十分反常的，因为科学是人类文化史上最伟大的成就之一。它拥有着错综复杂、精彩异常的历史；它揭示了大量有关人类自身与我们生活的这个世界的知识；它直接或间接地改变了我们的社会与自然世界。然而就在人类与环境问题都迫切需要科学知识来解决的时候，学生与教师却将科学遗弃了。

不幸的是，无论是教师还是学生，这种逃离科学课堂的现象已经被相关文件所证实。20世纪80年代中期的美国，每年大约有600名科学专业的毕业生开始从事教学工作，与此同时却大约有8,000人放弃这一工作（Mayer 1987）。1986年，大约7,100所美国高中没有开设物理课，4,200所高中没有开设化学课（Mayer 1987）。1990年，只有四个州接受了1983年《国家在危机之中》报告的建议，要求学生接受三年基础科学教育，而其余州的高中毕业生只接受两年的科学学习（Beardsley 1992, p. 80）。抛开学习年数的要求不谈，大约70%的在校生会在他们获得第一份工作的时候放弃科学课程——这也就是为什么在1986年只有不到五分之一的高中毕业生学习过物理。1991年，卡耐基科学技术与政府委员会预警：科学教育上的失败已经严重到“对国家的未来造成了长期严重的威胁”（Beardsley 1992, p. 97）。而在英国，英国国家教育委员会与英国皇家学会最近发表的报告也说明了以上这种趋势。某评论员曾说过，“环顾四下，学生正在渐渐地远离科学……尽管他们确实接受过大学教育，但是他们所具备的科学水平确实低得可怕”（Bown 1993, p. 12）。在1989年的澳大利亚，科学教育专业的入学要求是所有大学专业中录取要求最低的。

关于科学被遗弃的现象有很多复杂的原因，涉及经济、社会、文化等各方面。这些原因已经超出了教师能力可以解决的范围。但与此同时，还有一些教育方面的原因是教师和管理者可以努力改变的。例如在1989

年，有相当一部分澳大利亚顶尖学校的科学家认为，人们不愿意在大学学习科学专业是因为它“太无聊了”。这就是课程与教学法上的失败，而科学史与科学哲学（HPS）则可以弥补这一失败。

HPS的贡献之一就是在特定的科学学科中建立概念之间的联系，将不同的科学学科之间，将科学与数学、哲学、文学、心理学、历史、技术、商业以及宗教体系之间相连接，最终使科学与艺术、伦理、宗教、政治等文化更广泛地联系在一起。科学通过与其他学科协作最终得到发展，这其中存在着彼此的相互依赖。实践也证明科学通过与广阔的文化社会环境相联系得以发展。从小学到大学，这些相互联系与相互依赖都可以在科学教育中得到合理的挖掘，由此学生取得的最终成果会比那些在学校中开展毫无联系的科学教学所取得的成果更令人欣喜。曾有学生提到，大多时候科学课程更像是“在一个陌生的国度急速行军，连观看周围风景的时间都没有”。

即便在学校中维护科学的地位不是必须的，对社会的健康也很重要。伪科学与不合理的世界观已经在西方文化中占据了重要地位，反科学的比例也在逐渐上升。面对街边收银台随意摆放的印着“恶魔现世”的世俗小报，或许不仅仅是社会的科学壁垒被逐渐腐蚀了。盖洛普民意测试显示，只有40%的美国成年人相信人类出现于几千年前，而几乎所有的报纸都会设立占星术专栏。更糟糕的是，教育的城堡也在这种攻势下逐渐沦陷了。1988年一项针对美国生物教师的调查显示，30%的教师拒绝接受进化论，22%的教师相信鬼神的存在（Martin 1994）。尽管有那样或那样的缺陷，科学传统促进了理性、批判性思维和客观性的发展。它逐渐渗透了一种关注证据的态度，并以世界的本质、而非个人及社会的喜恶来发表观点；这就是伯特兰·罗素（Bertrand Russell）提到的“宇宙虔诚”感。然而这些价值受到了学术界内外的攻击。一些在教育上深具影响力的观点，诸如后现代主义和建构主义，它们对理性和客观性持有抵制态度，认为它们的追求是堂吉珂德式的。这对于科学教学来说的确是一个严峻的挑战。

科学传统的生命力，以及它对社会的积极影响，取决于它可以成功地将儿童导向科学的学习成果、科学的方法以及科学的思维过程。想要达到这一点，就需要依靠教师对科学的理解与重视。而科学史与科学哲

学恰恰有助于这种理解与重视。

本书源自历史、哲学与科学教学国际组织，同时也是对该组织的献礼。该组织是一个由教师、科学家、教育学家、历史学家、数学家、教育哲学家以及科学哲学家组成的身份多样的团体，过去的五年间，该组织举办了两次会议¹并且出版了许多致力于HPS与科学教学的期刊特刊²。一些在此领域内发表的基础性文章已经由马修斯（1991）结集出版，发表在《历史、哲学与科学教学：精选读本》上（多伦多，安大略教育研究出版社，纽约教师学院出版社，1991）。这些文章对延伸阅读都是有帮助的。历史、哲学与科学教学国际组织同时也与新期刊《科学与教育：历史、哲学、科学与数学社会学的贡献》保持联系，共同致力于与本书相同的主旨³。

丨 注释 丨

1. 1989年塔拉哈西的会议论文可在赫格特（Herget）（1989，1990）的文献中获取；1992年金斯顿会议的论文则可在希尔斯（Hills）（1992）的文献中获取。
2. 特刊包括以下几个：Educational Philosophy and Theory 20（2），（1988）；Synthese 80（1），（1989）；Interchange 20（2），（1989）；Studies in Philosophy and Education 10（1），（1990）；Science Education 75（1），（1991）；Journal of Research in Science Teaching 29（4），（1992）；International Journal of Science Education 12（3），（1990）和Interchange 23（2，3），（1993）。
3. 杂志由荷兰克吕韦尔学术出版集团出版，地址：PO Box 17，3300 AA Dordrecht。该杂志可通过国际HPS&ST组织以折扣价购买（详询作者）。

丨 参考文献 丨

- Beardsley, T.: 1992, 'Teaching Real Science', *Scientific American* October, 78-86.
- Bown, W.: 1993, 'Classroom Science goes into Freefall', *New Scientist* December, 12-13.
- Herget, D.E. (ed.): 1989, *The History and Philosophy of Science in Science Teaching*, Florida State University, Tallahassee, FL.
- Herget, D.E. (ed.): 1990, *The History and Philosophy of Science in Science Teaching*, Florida State University, Tallahassee, FL.
- Hills, S. (ed.): 1992, *The History and Philosophy of Science in Science Education*, 2 volumes, Queen's University, Kingston.
- Martin, M.: 1994, 'Pseudoscience, the Paranormal, and Science Education', *Science & Education* 3(4), 357-372.
- Matthews, M.R. (ed.): 1991, *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto.
- Mayer, J.: 1987, 'Consequences of a Weak Science Education', *Boston Globe* September.

致谢

2014

在本书二十周年纪念版的致谢里，我要感谢的人与我在1994年版本里感谢的人基本相同。首先，和所有书籍的撰写一样，家人为我付出了很多。自1994年以来，我的妻子朱莉（Julie），我的女儿克莱尔（Clare）、爱丽丝（Alice）以及后来加入这个家庭的三女儿阿梅利亚（Amelia），以及两个孙辈约书亚（Joshua）和埃莉诺（Elenore），共同见证了我在这本书上花费的时间。让我欣慰的是，他们全都相信我在从事一件很有意义且值得去完成的工作。那些本应投入家庭的时光被花费在了书中，这些时光是否有价值还要交由读者去裁决。

这本书的再版也让我能够有机会再一次重读并重估书中提到的观点和论证。本书原本是受伊斯雷尔·舍夫勒（Israel Scheffler）在1989年发出的邀请，为劳特利奇出版社教育哲学研究图书馆编写一本关于科学教学的书，然而我们彼此都没想到这本书会持续印刷如此之久，以至于25年之后仍会被授权再版。

1994年，我曾经提到过感谢带我走入本书主题领域的老师：悉尼大学的沃利斯·萨奇廷（Wallis Suchting）（哲学专业）和比尔·安德森（Bill Andersen）（教育专业），波士顿大学的罗伯特·科恩（Robert S. Cohen）、阿布纳·西蒙尼（Abner Shimony）以及马克思·瓦托夫斯基（Marx Wartofsky）（哲学专业）。显然，这些博学的教师对我的帮助依旧不减。自第一版出版20年以来，我有幸遇见了许多学者并与他们共事，从中我学到了很多。在这里特别要提到的是马里奥·邦格（Mario Bunge）。这位94岁高龄的学者如今仍在继续撰写书籍和文章，用他丰富的、跨越哲学史、科学与科学哲学的知识，以清晰的表达与实干的热情投身于那些教育学的焦点议题中。

在1994年的致谢中，我提到我有幸编撰了期刊《科学与教育》，那时正是它出版发行的第二年。20年后，我仍旧在继续编辑该期刊，这使得我与上百位来自世界各地的学者取得了联系。我有幸可以获得大量的

观点信息，了解当今最新的研究进展。尽管这些不同的观点并不会全部融入我的主观思考方式，但它们确实都有自己存在的价值。

在1994年的致谢中，我还表达了对历史、哲学与科学教学国际组织（IHPST）的感谢。而在这20年间，这种感激之情也随着我们的友好关系持续增长。特别值得注意的是，在希腊、芬兰、阿根廷、巴西、墨西哥、丹麦、西班牙、印度和韩国举办的会议——每一次会议都是讨论和聆听英美之外的学者关于历史、哲学与科学教学观点的绝好机会。而在英美范围内，在过去的20年间，IHPST也在举办两年一届的、以学术和友谊著称的学术盛宴。

作为第三卷第七十六章《历史、哲学与科学教学研究手册》（Springer 2014）的主编，我也受益良多。这本手册的作者共有125位学者，他们来自30个不同的国家。这一份感谢也体现在每一章之后的参考文献里。现在这本书可以被看做是上述手册的“初级读本”，其中提到的所有论证，都在手册中有更高级更完备的叙述。

很多朋友都阅读了本书，并对书中的不同章节作出了评论。他们是：里卡多·卡拉姆（Ricardo Karam）、扬·贝内特罗—迪潘（Yann Benétreau-Dupin）、科林·高尔德（Colin Gauld）、罗伯特·诺拉（Robert Nola）、罗兰·舒尔茨（Roland Schulz）、埃德加·詹金斯（Edgar Jenkins）以及格鲁·伊泽克（Gürol Irzik）。感谢他们阅读本书并提出意见与建议。而朱莉·豪斯（Julie House）以及汉斯·施耐德（Hans Schneider）更是欣然修订并重新审读了不同章节。我还要特别感谢保罗·麦科尔（Paul McColl），感谢他仔细阅读了全书，提出了建设性意见，并仔细审读了全部手稿——这简直是一项伟大的工作。特别感谢勤奋专业的路易斯·史密斯（Louise Smith）——英国劳特利奇出版社的技术编辑，她在编加完成之后依然向我提出了110个“需要作者校对的注释”供我纠正。因为这110个失误的发现使本书在正式出版时避免了许多令读者疑惑的问题。我在这里也向其他作者推荐这位编辑。

最后，本书1994年版的再版和扩增也要感谢劳特利奇出版社，泰勒 & 弗朗西斯出版集团的教育编辑内奥米·西尔弗曼（Naomi Silverman）的热情邀请。与她共事是一段非常愉快轻松的经历，我向所有作者推荐她。

资源

这次再版的很多地方吸纳了我在过去20年间发表的一些素材。特别是：

- 第六章部分基于：Matthews, M.R.: 2001, 'Methodology and Politics in Science: The Case of Huygens' 1673 Proposal of the Seconds Pendulum as an International Standard of Length and Some Educational Suggestions', *Science & Education* 10 (1-2)。
- 第七章部分基于：Matthews, M.R.: 2009, 'Science and Worldviews in the Classroom: Joseph Priestley and Photosynthesis', *Science & Education* 18 (6-7)。
- 第十章部分基于：Matthews, M.R.: 2009, 'Teaching the Philosophical and Worldview Components of Science', *Science & Education* 18 (6-7)。
- 第十一章部分基于：Matthews, M.R.: 2012, 'Changing the Focus: From Nature of Science (NOS) to Features of Science (FOS)'. In M.S. Khine (ed.) *Advances in Nature of Science Research*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- 第十二章部分基于：Matthews, M.R.: 2014, 'Discipline-based Philosophy of Education and Classroom Teaching', *Theory and Research in Education* 12(1), 19-108。

再次感谢施普林格出版社与SAGE允许我使用这些素材。



致谢

1994

过去的五年间，撰写这本书一度严重侵占了我的家庭生活时间。感谢我的妻子朱莉·豪斯（Julie House）以及我的女儿克莱尔（Clare）与爱丽丝（Alice），感谢她们对我的宽容。特别是朱莉·豪斯，不仅给予我无限的宽容，还参与了本书的审稿与草稿的校订工作。她尽其所能地完善了书中一些不恰当的表达、语法错误以及拼写错误。此外，她还就文中大多数中心观点进行了论证，保证文章主旨突出。我想所有的读者都应该感谢她的努力，因为她的工作，减少了太多读者可能会遇到的阅读障碍。

我要感谢伊斯雷尔·舍夫勒（Israel Scheffler）教授邀请我为他和韦尔农·霍华德（Vernon Howard）的教育哲学研究图书馆编写这本书，感谢劳特利奇出版社的教育编辑杰恩·法尔尼奥利（Jayne Fagnoli），感谢她给予我的耐心。

我要把感谢给予历史、哲学与科学教学国际组织的众多成员，感谢他们五年来热情慷慨地提供观点和对我的热情款待。而由肯·托宾（Ken Tobin）、大卫·格林德尔（David Gruender）（塔拉哈西 1989）、斯基普·希尔斯（Skip Hills）、布赖恩·麦克安德鲁斯（Brian McAndrews）（金斯敦 1992）激发的很多灵感也已经写入书中。期刊《科学与教育》也关注了本书的主题，使我能够阅读并且受益于来自全球各个国家作者的成果。马丁·埃格尔（Martin Eger）和法维奥·贝维拉夸（Fabio Bevilacqua）的建议与鼓励也是极为重要的。当然，要感谢的人不胜枚举，希望你们都能感受到我深深的谢意。

我还要感谢带领我走入科学史与科学哲学领域的导师。我要特别感谢原悉尼大学教授沃利斯·萨奇廷（Wallis A. Suchting），我有幸成为他的学生，他的学术标准与知识广度为我树立了良好的典范。波士顿大学教授阿布纳·西蒙尼（Abner Shimony）引导我接触了伽利略（Galileo）

的著作，同样来自该大学的罗伯特·科恩（Robert S. Cohen）教授、马克思·瓦托夫斯基（Marx W. Wartofsky）教授帮助我将科学与科学哲学融入社会与历史的大环境中。我同样也要感谢原悉尼大学的比尔·安德森（Bill Andersen）博士，他是我在教育哲学领域的启蒙老师，在我还是个年轻单纯的科学专业的学生时鼓励并帮助我专注于教育中的哲学问题。

我的雇主，新南威尔士大学与奥克兰大学也给予我很大的帮助，使本书的出版成为可能。新南威尔士大学的图书馆为我提供了极为丰富的科学教育、科学史与科学哲学的书籍材料。而我在奥克兰大学担任科学教育客座教授的两年中，学校也给予我慷慨的支持与帮助，使我能顺利地完成本书的编撰。

包括迈克尔·霍华德（Michael Howard）、彼得·斯莱扎克（Peter Slezak）、高尔德（Gauld）、萨奇廷、理查德·索利（Richard Thorley）、法维奥·贝维拉夸、哈维·西格尔（Harvey Siegel）以及詹姆斯·旺德森（James Wandersee）在内的很多朋友也阅读了我定稿前最后一份手稿，并给予了修改意见和有价值的建议，我在这里向他们表示感谢。他们的学识以及对细节的关注减少了读者的很多阅读障碍。而让·邓肯（Jan Duncan）在本书的校正、文献检阅以及图表准备工作上也给予我极大的帮助。

最后，我要感谢劳特利奇出版社的技术编辑吉尔·肯特（Gill Kent），感谢她对内容细节一丝不苟的态度。我想这本书因为有了她的辛勤付出而更加完美。

科学史、科学哲学与科学教育间的和谐关系

在我们认知自然世界和社会世界的过程中，科学已然成为贡献最大的因素。通过与宗教、世界观、经济与技术之间的相互作用，科学成为影响文化的主要因素。从食品生产加工、制药、娱乐、战争、工业、繁殖、交通运输、住宿、宗教、太空探索，到人类的自我认知和世界观——人们在宇宙和自然界中的位置全都受到科学的深入影响。通常这些影响是正面的，但有时也会是负面的。理解科学中的“平衡图表”是至关重要的，而这种理解必须借助科学史和科学哲学（**history and philosophy of science, HPS**）的知识。本章节将会提到一些基本原理，正是这些原理构成了现今科学史、科学哲学和科学教育（**science teaching, ST**）——或者我们称之为“**HPS&ST**项目”之间的和谐关系。这个项目中应当包含：

- 通过科学教学中的理论、课程与教学法问题，历史学家与哲学家参与科学；
- 通识教育的发展以及对历史和哲学组成部分的认知对于这类教育来说是必须的；
- 明确良好的科学技术教育所需的基础哲学内容；
- 认同**HPS**可以帮助改善科学教育中存在的一些普遍的、众所周知的问题；
- 能够意识到**HPS**是通过科学学习进一步解决个人与社会生活中的重大问题的必要条件；
- 同时也要意识到，要想满足众多新兴国家与地方性科学课程的具体需求，科学史与科学哲学的知识是必需的。

哲学家、历史学家参与科学教育

早在35年前，罗伯特·恩尼斯（**Robert Ennis**）曾就科学哲学和科学

教学方面已有的文献进行了阐述。在他的阐述中列出了科学教师在课堂、办公室经常会遇到的六个问题，而这些问题通过科学哲学家与科学史学家的思考与研究得以阐明。这些问题分别是：

- 科学方法的特点是什么？
- 实证主义批判性思维由什么构成？
- 科学学科的结构是怎样的？
- 科学解释是什么？
- 在科学家的工作中，价值判断扮演了怎样的角色？
- 如何更好地对科学理解进行测评？

长久以来，这些问题影响着科学教师自身以及与其相关的教育培训。然而，恩尼斯的调查结果却不容乐观：“除一些特殊情况外，科学哲学家对科学教育中出现的这些问题没有表现明确的关注”（Ennis 1979, p. 138）。然而令人欣慰的是，近几十年来，这些领域之间已经出现了一定程度的交叉。不仅科学教育理论，更重要的还有科学课程、课堂教学法，都通过HPS被人们所了解。（这些主题被合并称为HPS&ST。）本书将从以下几个方面进行阐述：

- 概括支持HPS在科学教育中的地位的理由；
- 通过回顾学校科学课程的发展史，确立“HPS教学法”与其他科学教学法的不同地位；
- 对前人将HPS与科学教育进行衔接所做的努力进行评估，分析其中的经验教训；
- 详细阐述一些研究案例。比较HPS与“专业”教学法（或称为“技术”教学法）对科学教学与课程发展的影响，并对此进行评估。
- 审视在科学教育中可以通过HPS进行解读和阐述的一些典型的教育学论辩实例——包括建构主义理论、女权主义、多元文化主义、世界观以及科学本质等；
- 概括HPS对科学教师教育发展的贡献。

我们希望本书可以激发科学史学家和科学哲学家对教育的兴趣，同时也希望激发科学教师对历史学和哲学的兴趣，特别是那些负责培训科学教师的教育工作者。

恩尼斯在20世纪70年代末指出，只有一些战后历史学家和哲学家

在科学教育方面有所著述，而这其中就包括了迈克尔·马丁（Michael Martin）。马丁曾就哲学与科学教育方面发表了一系列论文（1971，1974，1986/1991），并撰写了畅销书《科学教育的概念》（1972）。40年前，撰写过这个主题的科学哲学家和科学史学家还包括斯蒂芬·布拉什（Stephen Brush）（1969）、罗伯特·科恩（Robert Cohen）（1964）、耶胡达·艾尔卡纳（Yehuda Elkana）（1970）、赫伯特·费格尔（Herbert Feigl）（1955）、菲利普·弗兰克（Philipp Frank）（1947/1949）、杰拉尔德·霍尔顿（Gerald Holton）（1975，1978）、诺雷泰·柯尔特格（Noretta Koertge）（1969）、恩斯特·内格尔（Ernst Nagel）（1969，1975）以及伊斯雷尔·舍夫勒（Israel Scheffler）（1973）。值得庆幸的是，这种忽视哲学、历史与科学教育之间关系的情况已经有所改善。在过去的几十年间，很多科学哲学家¹和科学史学家²已经开始致力于解决科学教学中存在的各种各样的问题，包括理论问题、课程问题、教学法问题，等等。

哲学家与史学家对科学教育的关注促成了《科学与教育》期刊中相关专题的讨论³，并促成了一些文集的出版，例如《历史、哲学与科学教学》（Matthews 1991）、《科学、世界观与教育》（Matthews 2009）、《认识论与科学教育》（Taylor & Ferrari 2011）、《生物哲学：教育工作者的伙伴》（Kampourakis 2013）以及共3卷76章的《历史、哲学和科学教学研究国际手册》（Matthews 2014）。

恩尼斯提出的六个问题一直存在，但通过阅读上述文献的主题，我们就可以发现，这些问题并没有覆盖HPS&ST领域的主题。哲学家对教学法问题的解决、课程讨论和相关理论的辩驳做出了贡献。这些辩驳包括科学的女权主义批判、多元文化主义与科学、建构主义理论评价、环境伦理学、科学本质、科学与宗教等诸多方面。本书的一个主要论点认为，上述问题并非科学教师课程之外的或者附加的问题，科学哲学其实是科学教学的重要组成部分，学生在经意或不经意间从老师那里获得这些科学哲学知识。问题的关键在于怎样将这些问题明确地识别出来，以及如何明确地处理这些哲学问题。显然，哲学与历史学的融入对完善这些讨论发挥了作用，而脱离了HPS的作用，上述这些理论问题就不可能被人们了解或得到有价值的讨论。

科学史和科学哲学的相互作用

本书认为，科学哲学需要认识到科学史的重要性，反之亦然。伊姆雷·拉卡托斯（Imre Lakatos）曾明确地表述过它们之间的关系。他认为，“脱离了科学史的科学哲学是空洞的，脱离了科学哲学的科学史则是盲目的”（Lakatos 1978, p. 102）。这个观点遭到了一些学者的强烈反对，他们认为哲学应该占据一个更加独立的地位，汉斯·赖兴巴赫（Hans Reichenbach）就是其中一位。赖兴巴赫在他经典的关于科学中“发现情境”与“辩护情境”的区分上明确表达了这一观点。对赖兴巴赫而言，哲学只涉及辩护情境，而历史、社会学与心理学涉及发现情境（Reichenbach 1938）。

关于科学史和科学哲学之间关系的定位备受争议，专家们就前者对后者的重要性持有不同的看法。希拉里·帕特南（Hilary Putnam）曾一度声称科学史与科学哲学是“不相干的”（Suppe 1977, p. 437）。极具影响力的实证主义科学哲学家鲁道夫·卡纳普（Rudolf Carnap）曾经将自己形容为“一个超乎想象的‘去历史化’的人”（Suppe 1977, p. 310）。卡纳普的学生威拉德·范·奥曼·奎因（Willard van Orman Quine）也发表过类似的看法，在他颇具影响力的关于认识论的文集中没有任何历史参考文献（Quine 1960）。

另一方面，对于那些试图将科学史从科学哲学中分离出去的人来说，同样也存在着诸多问题：抛却哲学假设后，我们该如何定义科学史？没有了方法适当的前概念，我们该如何区分科学史中的有用部分和无用部分？这就好比在书写科学史之前我们先要知道什么是科学。如果没有这样的观念，那么我们可能更适合去研究占星术、命理学或者集邮，而不适合去研究化学或者地理。

正如许多非此即彼的问题一样，答案可能就潜藏在某个中间点上。科学史与科学哲学的关系应当是相互作用的，大量的科学史证据被用以辅助处理哲学、政治和宗教事务。众所周知，伽利略（Galileo）被认为是“哲学界的及时雨”（Crombie 1981），因为跟随伽利略的脚步，每位方法学家都能够领悟出自己热衷的不同的方法论。目前，历史只是处于择优挑选的被动地位，而科学史反过来改善或改变哲学的情况却并不多见。关于托马斯·库恩（Thomas Kuhn）哲学变革的故事，出于偶然，开始

于他在哈佛大学教授科学史课程，这也是近代以来历史改造哲学的著名案例。从此以后，哲学开始用于书写历史，与此同时，哲学也能够被历史研究改变⁴。

这场关于历史地位的论辩最终被认定为具有科学哲学性议题的色彩——或许此时会有人冲动地站出来说那些关于现实主义、实证主义、因果、解释、理想化、真实、虚伪以及理性的争论都已经被解决了，但事实上，一些关于哲学与历史学之间相互作用的问题还有待商议。显然，科学史在科学哲学中的定位需要进一步说明。有关科学本质、理论评价或者科学本体论的阐述，如果不提及伽利略、牛顿（Newton）、开普勒（Kepler）、拉瓦锡（Lavoisier）、达尔文（Darwin）、孟德尔（Mendel）、马赫（Mach）、爱因斯坦（Einstein）以及他们所引发的科学争论，就会显得非常奇怪。然而不幸的是，科学哲学课程常常将这些科学史的问题忽略掉。通常来说，学生在通读卡纳普、内格尔、波普尔（Popper）、库恩、拉卡托斯、费耶阿本德（Feyerabend）、劳丹（Laudan）、范·弗拉森（van Fraassen）等学者关于科学方法论的论辩时，都会把这些人关于亚里士多德（Aristotle）、伽利略、惠更斯（Huygens）和牛顿的历史解读视若真理，从而导致自己更像是这场学术竞技中的旁观者。我们应当思考，一门课程应当如何设置才能提高学生对科学传统的鉴别能力，使他们进行更深层次的思考？课程一旦脱离了历史，就会演变成教学问答的模式。科学教师和学生已经对这些名人有所耳闻，想要进一步了解这些名人在科学本质或其他由科学引发的哲学问题的讨论中的身份，这种模式就会显得特别奇怪⁵，而这正是欧洲传统的教学模式。

科学与通识教育

当代HPS与科学教育的和谐关系部分建立长期边缘化的自由主义或情景主义科学教育传统的复苏。而这一传统在近一百年内因恩斯特·马赫、皮埃尔·迪昂（Pierre Duhem）、阿尔弗雷德·诺思·怀特黑德（Alfred North Whitehead）、弗雷德里克·韦斯塔韦（Frederick W. Westaway）、霍姆亚德（E.J. Holmyard）、珀西·纳恩（Percy Nunn）、詹姆斯·科南特（James Conant）、约瑟夫·施瓦布（Joseph Schwab）、马丁·瓦

根沙因 (Martin Wagenschein)、沃尔特·荣格 (Walter Jung)、杰拉尔德·霍尔顿 (Gerald Holton) 等科学家和教育学家的帮助得以发展。一般来讲, 教育学中的自由主义传统认为亚里士多德描述的真善美是每个人都应该尽力去培养的理想品质。换言之, 我们说知识是求真, 道德是求善, 艺术和创作是求美。教育应当对一个人的知识、道德观、行为习惯、审美和能力的发展起到帮助。对自由主义教育家而言, 教育不只是求职应聘前的准备, 更重要的意义在于, 无论对于个人还是他们的文化, 教育都有助于促进道德和认知的发展。

自由主义传统包含很多教育条款⁶: 其一, 教育需要引导儿童学习包括学术科目在内的最优秀的文化传统, 通过这样的方式, 他们可以理解特定的学科主张和理论, 同时也能更好地理解学科本身——包括方法论、假设、局限性、历史等等。其二, 在年级水平划分适当的基础上, 特定学科之间以及这些学科与伦理、宗教、文化、经济、政治之间的相互关系应当得到认可, 并加以研究。自由主义传统试图克服知识的碎片化。其三, 教育应当受到伦理道德的引领, 这一点不仅适用于课堂, 也适用于广义上的各种形式的教学。也就是说, 伦理道德的适用范围既可以是邻近的, 也可以是较远的。

自由主义传统坚持认为, 科学教育不应仅仅是科学领域中的教育与训练, 虽然这种教育训练是必要的, 但还应当是关于科学的教育。接受科学教育的学生应当具备对科学方法的鉴别能力, 知道这些方法的差异与它们的局限性。学生应当对方法论有所思考, 例如科学理论是如何被评价的、处于竞争地位的理论应当如何被评估、科学中的争议是多么常见以及科学论证和科学论辩是如何致力于解决这些争议的。同时, 学生也应对科学发展中实验、数学、宗教、哲学与意识形态的相关地位具有一定的鉴别能力。无论是科学专业的学生还是非科学专业的学生, 都应当对科学与文化发展中的重大事件有所了解: 古老的、去神话化的世界本源; 哥白尼证实了地球并非太阳系的中心; 与伽利略和牛顿息息相关的实验与数理科学的发展; 牛顿关于万有引力定律应用于天体领域的论证; 达尔文划时代的进化论以及自然主义对生命的理解; 巴斯德 (Pasteur) 关于微生物感染基本原理的发现; 爱因斯坦的引力理论和相对论; DNA 密码的发现和生命遗传基础的研究⁷。对促成这些不朽成

就的知识、技能、社会和个人因素，学生应该有与其自身年龄相符的理解与认知。

显然，以上这些面向通识教育和科学教育的目标，要求历史与哲学融入学校的科学课程以及教师教育。好的科学教师以及所有学科的优秀教师，都需要了解一些他们所教学科的历史和哲学知识，以此激发学生对不同维度科学的热情。而关于这一点我们将会在第十二章中进行更加详细的论述。

历史、哲学与技术教育

HPS与科学教育之间和谐关系的建立，不仅依赖对科学教育毫无偏见的态度，还要求将历史与哲学融入科学技术教育中。科学知识中不仅应当包含科学事实、科学定律、科学理论等科学产物，还应该包含科学过程的知识——在科学发展与科学主张检验过程中出现的社会性、技术性以及知识性方法。HPS对理解这些过程的技能起到了重要作用。如果学生能够理解自己使用的术语的含义，如果他们能够对文章、报告和科学活动进行批判性思考，如果他们知道证据是如何证实或否定假说的，如果他们能够理智谨慎地描述数据并利用数据来解释现象，如果他们能够跟同伴们一起讨论、论证并深入思考，那么技术教育——有时也称为专业科学教育或者学科科学教育——将会得到长足的发展。如果学生能够了解那些坚持探究的典范、设计精妙的实验、具有远见卓识的假设以及关于假设评价与检验的经典论辩，那么他们的科学能力将会得到有效的提高。阿尔弗雷德·诺思·怀特黑德在二战后曾经对好的技术教育发表过如下观点：

“把技术与通识教育放在对立面是极其荒谬的。技术教育中不包含通识教育是不可能的；同理，通识教育不包含技术教育也是不可能的。也就是说，既不包含技术也不包含知识的教育是不存在的。”

(Whitehead 1947, p. 73)

当我们在教授学生波义耳定律(Boyle's Law)的时候，如果不去思考科学中的“定律”是什么，不去思考构成科学定律的证据是什么，不去注意波义耳是谁、他生活在什么时代、做过什么事情，那么我们的教

授过程就显得不完整且令人失望。我们的教学过程应当可以做得更好，不仅仅是教学生，甚至可以帮助学生去发现：对于一定温度下的给定气体而言，压强与体积的乘积为常数，这些是必要的，但这只是最低的要求。同样，当我们在教授达尔文进化论的时候，如果不考虑理论与证据的关系，不考虑归纳法的作用，不思考演绎推理与溯因推理的用法，不关注达尔文的生平与时代以及他的理论所引发的宗教、文学与哲学争论……那么我们的教学就变得十分局限。学生在做实验和解释实验的时候需要知道：数据的描述是如何与理论相关的，证据是如何与假说的归纳支持或演绎证伪相联系，科学中真实情况与理想情况的关系，散乱的生活经验与抽象化和理想化的科学理论之间的联系，以及很多事情都包含了哲学或方法论的观点。科学有着丰富且有意义的发展历史并充满哲学与文化内涵。科学教育应当向学生充分展示这些丰富的内涵，并鼓励他们参与到那些令科学家着迷的重大问题中。至于这些问题究竟是在科学范畴之外，还是在科学范畴之内，从教学法的角度来看就不那么重要了。

科学教育中存在的问题

国际上普遍认为现行的科学教育存在一定的问题。传统教学、技术教学和非情景教学难以吸引学生、提升学生的知识水平以及提高学生对科学的理解力。大量纪录表明，当代科学教育存在一个重要危机。这个危机表现为教师与学生逃离科学课堂，以及西方国家公民科学知识的严重匮乏。这也在全世界范围内引发了对国民教育课程和科学教育政策的重新思考与改革。

逃离科学

在美国，这些改革在过去30年间持续不断地进行着⁸。20年前的美国，70%的在校生会在获得第一份工作的时候抛弃科学。美国国家科学基金会(American National Science Foundation, NSF)曾经对此现象进行谴责：“我国的科学、数学与技术学士学位课程，无论从质量还是课程范围上讲都已经衰退，以至于它们已经远远不能满足国家的需要。美国独特的优势资源被破坏了”(Heilbron 1987, p. 556)。而近期关于美国大学科学课程的报告表明这种现状依然非常严峻(Ashby 2006)。美国国家研究委

员会 (National Research Council, NRC) 在《下一代科学教育标准》(Next Generation Science Standards, NGSS) 中提到:

“现在美国从幼儿园到12年级(K-12), 科学、技术、工程和数学(science, technology, engineering and mathematics, STEM) 的人才培养是存在漏洞的, 每个阶段只有少数学生学习STEM课程, 并最终从事与之相关的工作……我们需要新的科学标准来激发并培养学生对STEM的兴趣。”

(NRC 2013)

在欧洲, 政治与教育也开始大范围地积极投入到类似的改革中来。欧盟委员会(European Commission, EC) 在1995年的报告中提到:

“传统科学教育旨在使学生掌握严格的逻辑指令、演绎体系以及抽象概念, 而这一切都以教学为主导。这导致科学教育看起来软弱无力, 并使学生处于被动地位, 无法进行充分的思考与想象。”

(EC 1995, in Dibattista & Morgese 2014)

充分认识到科学教学上的失败以及逃离科学的现实之后, 欧盟委员会在2004年发布的报告直接将标题定为《欧洲需要更多的科学家》(EC 2004)! 第二年, 委员会委托进行了一项全欧洲范围内的调查。调查结果显示, 50%的成年人认为他们学校的科学课程“缺乏吸引力”。调查呼吁改革课程与教学法, 提高科学素养, 改善相关问题⁹。

科学素养

通过提供给科学教育的国家资金与私人捐助我们发现, 成人的科学素养状况令人担忧(Roberts 2007, Shamos 1995)。过去的40多年间, 乔恩·米勒(Jon D. Miller)和他的同事参与了一系列由美国国家科学基金会发起的、大规模的关于美国科学素养的研究(Jon D. Miller 1983, 1987, 1992, 2007)。米勒认为, 素养应当从两个维度上进行衡量, 即有关科学内容的知识和有关科学过程的知识。前者包含了有关概念的基本知识, 例如“原子”、“重力”、“基因”等, 以及基本的事实性知识; 对后者而言, 需要一些关于科学是如何运作的、如何科学地研究事物, 以及一些实验和假设检验的知识。1985年, 他判断只有3%的高中生、

12%的本科毕业生以及18%的博士毕业生具备良好的科学素养。在这份报告中，他以判断题的形式对样本量为2,000个成年人的群体进行了测试，测试的题目为“最早的人类与恐龙生活在一起”和“抗生素能杀死细菌和病毒”。只有37%的人答对了第一道题，26%的人答对了第二道题。米勒总结称，5%—9%的美国公民具备良好的科学素养（Miller 1992, p. 14）。2005年，他把测试范围扩展到34个国家。令人欣喜的是，这一次的结果显示美国公民具备良好科学素养的比率上升至28%，但是在这些国家中，只有瑞典的比例能够达到30%以上（Miller 2007）¹⁰。

事实上，关于科学素养由什么构成¹¹，为何科学素养水平低下的问题应该引起公民和教育行政人员的关注等问题存在很多争议。而公认的原因包括以下几点：

- 文化上——科学与音乐、宗教和艺术相似，是我们文化遗产的重要组成部分，所以需要人们了解。
- 职业上——科学技能与数学能力和计算机能力相似，是从事当代各种职业必不可少的技能，因此需要人们掌握。
- 学科上——没有基本科学知识的传播，就不会有大量的学生决心进行科学方面的深造或从事与科学相关的职业，科学学科也就得不到公众纳税资金的支持。
- 环境上——人们应该知道与他们居住地相关的知识，以及他们居住的自然界、动植物世界的组成和发展过程，而且这些知识应当被永远传承下去。
- 实用上——科学知识对每天丰富多彩的生活和决策的制定都是很有用的。

最后一个原因让我们回到“日常生活中的科学”上来。这个曾经在课程决策中占据支配地位的说法目前再度兴起，而这可能也是提高科学素养以及开设科学必修课程的正当理由。两位科学社会学家曾提到，科学教育之所以是有用的，是因为它可以在很多方面给予我们帮助，比如“知道应该把蛋奶酥放在烤箱的什么位置”（Collins & Pinch 1992, p. 150）。然而研究表明，虽然很多社会性科学议题逐步得以解决，但科学知识对人们解决厨房、超市、公路、医院或其他地方遇到的日常问题，帮助依然不大¹²。

显然，关注HPS课程和课堂教学，不是解决科学教育中存在的这些

“问题”的唯一途径，但它确实能够使科学学科变得更有吸引力、更具魅力，且能够更好地与数学、历史、哲学、宗教等其他学科相联系。无法立即显示出科学在厨房中的重要作用不是什么重大缺点，更何况很多“标准”科学也不能立即发挥作用。除了能够更好地学习科学外，融入HPS的科学课程还对人们的世界观、宗教信仰、文化理解有着显著的影响，这些影响显然并不是毫无用处的。

神秘现象与伪科学的信仰

关于公民科学素养的数据是极其令人担忧的。这不仅表明有很大比例的人不知道基本科学概念的含义、不了解自然的运作机制，也表明这样的无知通常容易与普遍的反科学和混乱的逻辑思维相联系。盖洛普民意测验多次显示，大约有三分之一的美国人相信幽灵、心灵感应、恶魔附体、超能力等一系列不足为信的危险猜想（Gallup & Newport 1991）。关注报纸占星术专栏的人远远多于关注科学专栏的人，每天都会有数百万的人购买摆放在收银台前的通俗小报，这些小报充斥着猫王再现和火星人到访地球这类消息。不计其数的互联网网站和电话黄页目录上提供着诸如占星疗法、看手相、灵气识别、前世解读、风水重置、预测未来、与外星人交流、千里眼、塔罗牌解读等一系列不恰当的、误导人的服务¹³。

不幸的是，这些“另类”的信条却常常与艺术创作联系在一起。艺术家大量集中的地区通常也是“新纪元（New Age）”实践者集中的地区。澳大利亚新南威尔士州唯一拒绝为供水系统加氟的城镇正是拜伦湾的艺术中心。美国亚利桑那州的赛多纳市以大量的艺术馆和数以百计的艺术家而闻名，但这座城市到处充斥着各种各样的神秘与心理疗法。无论是脉轮疗法、水晶疗法、精神针灸术、前世疗法、道家分析，还是灵性导师会话，这些都可以进行交易。此外，还有一些特殊的宇宙能量线存在，只要愿意交费，人们就可以坐在某个特定的位点或涡轮上通过渗透作用吸收能量¹⁴。在上百种另类交易的活动中，甚至有活动声称：

“（我们）已经在赛多纳找到了一些最有效的聚能场（涡能场），能够让你与地球母亲的自然电磁场（natural electro-magnetic fields, NEMFs）相连。”

每年不计其数的赛多纳人都会被这些江湖骗子和胡言乱语的传播者骗去大量金钱，而这些人大都学习过高中科学。本书的一个目标就是要分析为什么在“正统”学校科学的教育下，人们依然容易上当受骗，以及为何融入HPS的科学课程可以使人们对民间说法持怀疑态度，对那些荒谬的说法更有抵抗力。如果采用恰当的教学方法，大量的“神秘现象”、奇观和形而上学都可以在科学中得到解释。

当思想不受理性限制而过于随意时，我们便可以预见各种各样的种族歧视、偏见、臆想和盲从都会井喷式爆发。尽管存在各种缺陷，科学已经成为对抗迷信、偏见以及无知的重要因素。尽管影响力还没那么显著，但科学的确提供了一种与人们喜欢依照自己的经验与喜好对环境做出判断相抗衡的处事方式。一旦大众放弃了科学，或者科学教育放弃了大众，那么世界将处于危急关头。到那时，科学教师的角色就会变得至关重要，而一切力所能及的知识和物质上的支援也会变得至关重要。

没人会相信只依靠科学技术教育就能够击退那些即便不是毫无意义也是可疑的、荒谬的个人文化信仰。有很多证据显示，即便在科学领域拥有高级技术能力和成就的人同样也会有顽固的、愚昧的信仰。譬如，奥利弗·约瑟夫·洛奇爵士（Sir Oliver Joseph Lodge）（1851—1940）是英国杰出的实验物理学家、早期无线电广播的贡献者、机车火花塞的发明者，然而，他却相信人死后可以重生，相信通过媒介与招灵可以使现世人类与去世灵魂取得联系的唯心论者¹⁵。第一精神圣殿网站（The First Spiritual Temple）这样评价洛奇：

“洛奇爵士致力于将物质宇宙与超自然世界连接到一起。他坚信，生命是宇宙中至高无上的、永恒不朽的实质，它充斥于广阔的星际空间，为了将生命表现成有意识的、个体的形态，特别的压缩物质以太组成了我们看到的物质世界。”

（www.fst.org/lodge.htm）

在洛奇去世一百年后，埃德加·迪安·米切尔（Edgar Dean Mitchell）——NASA宇航员，第六个登上月球的人，并且在麻省理工学院获得科学与工程学博士学位，他在驾驶阿波罗14号太空飞船登上月球之后，有着与洛奇爵士相似的“超自然”信仰。米切尔声称，他在从月

球返回地球的途中，曾达到了“有余三摩地”的状态。在此过程中，他的灵魂吸收了精神与智慧之火，“燃烧”并摧毁了肉体的束缚。在经历了这个过程之后，他返回家中与朋友一起进行了超感官知觉实验。这些实验发表在《心灵学期刊》上。米切尔相信一位叫亚当·卓姆希勒（Adam Dreamhealer）的医疗术士通过远程电话治好了他的肾肿瘤，他也相信UFO的存在、相信星际访问，并坚信自己曾经遇到过这些外星生物。

事实上，像洛奇和米切尔这样的人即使没有数百万至少也有成千上万，这些人虽然接受过一流的科学教育，但这些教育却没能给他们的信仰带来多少帮助。这对那些坚信科学教育应该能给学生的个人生活以及文化进步带来有利影响的人来说是一个值得思考的问题。这不仅是启蒙哲学家和教育家的期望，也是约翰·杜威（John Dewey）的期望，更是美国科学促进会（American Association for the Advancement of Science, AAAS）的期望。美国科学促进会坚持认为：

“一个具备科学素养的人应当能够意识到科学、数学以及技术是相互依赖且各有所长的人类活动；能够理解科学的重要概念和原则；能够熟悉自然界并意识到自然界的多样性与统一性；能够使用科学知识科学的思维方式实现个人及社会需求。”

（AAAS 1989, p. 4; 斜体附注）

在《科学素养的基准》一书中，AAAS提出，教育应当“为学生在真实世界中不断前行做好准备。在这个世界中，问题随处可见——可能是家里、单位、社区，甚至地球上。”（AAAS 1993, p. 282）

对广泛存在的问题和完善社会教育目标而言，科学教育的独特贡献在于培养并改进人们的科学思维习惯。这就意味着科学应当从实验操作台逐渐走向家庭、工作岗位、社会甚至全球。对AAAS而言，更广泛的全球问题不只是物质上的，更是社会、文化甚至意识形态上的。“科学思维习惯”的应用对解决这些更广泛的全球问题而言是必不可少的。解决这些问题不能依赖听信宗师、使用显灵板或是询问占星学家。而目前存在的一个主要问题是：科学思维习惯的培养在学校科学教育中没有得到充分发展。

尼赫鲁（Nehru）在印度独立后的第一部宪法中概括了国家在促进“科

学素养 (scientific temper)” 中的责任, 并希望能起到传感效应。然而, 尽管做了巨大的投入, 60年后, 科学教育虽然在一定程度上得以传播, 但当初关于科学素养的期望却并没有实现。正如两位印度学者所认为的:

“如果要挑选出三到四个最主要的原因来说明为什么国家在众多领域会落后与失败, 那么科学素养的缺失一定是其中之一。”

(Bhargava & Chakrabarti 2010, p. 277)

后续, 我们将会第二章中提到, 这些启蒙运动理念的实现依赖于科学教育与历史、哲学相融合, 一旦缺少了这些融合, 科学想要在课堂之外对个人、社会和文化产生积极影响就变得极为困难, 甚至会起到相反的作用。这点认识也是现今科学教育能够与HPS形成融洽关系的基础之一。当然这并不是说仅仅依靠融入HPS就能够实现目标, 正如斯宾诺莎 (Spinoza) 曾巧妙地说道, “即便已经拥有了最好的, 也不要因此拒绝更好的”。

科学评论家

科学的存在离不开科学评论家。17世纪, 詹巴迪斯塔·维柯 (Giambattista Vico) (1668—1744) 拒绝了伽利略的新科学与笛卡尔 (Descartes) 的新数学, 选择支持回到“古代智慧”。随后, 包括浪漫主义文学、宗教传统和多种反主流文化运动在内的很多评论家都支持维柯的立场¹⁶。埃德蒙德·胡塞尔 (Edmund Husserl) (1859—1938) 等现象学哲学家对伽利略提出的科学方法进行了批判, 理由是这种方法没有成功地抓住我们生活的世界中的经验现实 (Husserl 1954/1970)。而后现代主义哲学家也对科学的普遍主义和现实主义假设进行了抨击。英国的王位继承人查尔斯王子 (Prince Charles) 曾经谴责伽利略和他所推行的现代科学传统, 认为现代科学是唯物主义的, 它使这个世界物质化了, “冒犯了世界上的神学传统”¹⁷。他在对科学与商业长达两个世纪的结合进行批判后表示:

“机械思维占据主导地位的不平衡状态, 至少应该追溯到伽利略声称‘自然界中只存在质量与运动’的时期。这种观念持续影响了我们对

世界的运行方式以及如何适应事物的格局的感知。由此，自然变成了纯粹的客观存在——‘她’变成了‘它’——我们被说服将精力都放在现实的物质层面，以适应伽利略的主张。”

对科学进行评判的人并非都是局外人。加拿大资深教育学者、国际科学教育研究的领军人物格伦·爱根海特（Glen Aikenhead）曾发表声明，“科学的社会研究”显示，科学是“机械的、唯物主义的、还原论的、经验主义的、理性的、脱离情境的、数学理想化的、公共的、意识形态的、男性化的、精英的、具有竞争性的、剥削的、不受个人情感影响的、暴力的”（Aikenhead 1997, p. 220）。

对科学教师而言，在这些评判中分辨什么是正确的、什么是不正确的是必要的。如果现象学家、后现代主义学家、查尔斯王子以及科学社会学研究的主张全被接受，那么科学教学的规范、目的以及理由就会连同必修科学课程一同被抛弃。有人愿意让孩子学习剥削的、竞争的、暴力的以及破坏原本和谐的世界观的知识吗？显然，评估这些主张需要HPS的知识，而这也正是科学评论家所呼吁的。本书的论证观点认为，HPS可以保护科学的核心原理与实践，也可以促进科学课程和教学的完善与改革。

课程的发展

过去的几十年间，课程开发受到了很多政府与教育团体的推动，因此，HPS&ST 展现出了充分的活力。在第三章中我们将展开细节论述，包括AAAS两个极具影响力的报告书《2061计划》（AAAS 1989）和《关于科学的人文学科》（AAAS 1990）、美国NRC的《下一代科学教育标准》（NRC 2013）、英国国家课程委员会（NCC 1988）、加拿大科学委员会（SCC 1984）、丹麦科学与技术课程以及荷兰的PLON计划。在上述这些案例中，HPS并不是科学教学大纲里一个简单的附加主题。HPS的提出是本书的重要论点之一，换句话说，HPS全面融入课程内容中。

AAAS对于上述开创性课程进行了很好的总结：

“科学课程应当将科学安置在历史视角上。接受通识教育的学生——无论主修专业是不是科学——都应当将科学看做是知识、社会与文化传统的一部分来修完科学课程……科学课程也必须通过强

调它在伦理、社会、经济和政治维度上的价值来传递上述内容。”

(AAAS 1989, p. 24)

显然,要实现上述全部的课程目标,就需要将HPS融入文件、教学材料、评价方案、教科书和教师教育中去。

结论

科学以及与之相关的技术是界定现代社会的特征,科学与技术应当得到更好的理解也是不言而喻的教育真理。当然,将HPS融入课程、教师教育与课堂教学并不能解决当代教育的全部问题——因为本质上,这些问题的答案是文化、政治以及社会经济组织的核心。但是,HPS在提升科学教学和学习,进一步促进个人与社会发展方面起到了重要作用。具体作用如下:

- HPS可以使科学人性化,将科学与个人、伦理道德、文化与政治考量相联系。有证据表明,HPS的融入使科学与工程对学生更具吸引力,特别是能够吸引那些通常排斥科学与工程的女性。
- HPS,特别是一些基础逻辑与分析训练,如:“该结论是否遵循上述前提”、“这样做的目的是什么”使课堂变得更具挑战性,增强了学生的推理能力与批判性思维。
- HPS有助于全面深入理解科学学科的主要内容——它可以帮助学生克服学习中的“无意义感”,这是约瑟夫·诺瓦克(Joseph Novak)曾经提出的,在学习公式和方程时,学生只是机械地背诵,缺少“它表达了什么”或者“它代表什么”的相关知识。
- HPS通过帮助教师更深刻地理解科学、明确科学在知识和社会上的地位,从而提高教师的教学质量。而这种帮助还具有传感效应。很多证据表明,教师的认识论,或者说关于科学本质的观点会影响他们的教学方式以及他们的教学内容,最终影响学生认识论的形成。
- HPS可以帮助教师发现学生的学习障碍,因为HPS可以在学生出现对科学发展史理解困难和概念转变时及时提醒教师。伽利略在四十岁时论证了现代加速度的理念,尽管经历了长期的思考,他始终没有得出关于潮汐现象的正确理论。通过历史研究,教师可以了解早期科学

学科中存在哪些知识上和概念上的困难。而这些知识可以帮助教师设计课程和组织课堂教学。

- HPS有助于科学教师和课程规划者对当代教育论辩进行更明确的评估。很多论辩——关于建构主义教学方法、多元文化科学教育、科学的女权主义批判、科学与宗教关系的议题、环境科学、探究式学习、科学-技术-社会课程、争议性课题教学如进化论等，它们的主张和假说都建立在历史与科学认识论、人类知识本质及其产物和校验之上。缺少了HPS基础，教师很容易受到当代流行观念的诱导，而这些观念“在当时看起来很不错”，但实际却是教育与文化的灾难。

■ 注释 ■

1. 其中至少包括：Mario Bunge (2000, 2003, 2011)、Martin Carrier (2013)、Hasok Chang (2011)、Alberto Cordero (1992, 2009)、Richard Grandy (1997)、Rom Harré (1983)、Gürol Irzik (2013, 2011 with Robert Nola, 2014 with Robert Nola)、Peter Kosso (2009)、Hugh Lacey (2009)、Peter Machamer (1992)、Martin Mahner (2012, 2014, 1996 with M. Bunge)、Robert Nola (1997, 2003, 2005 with Gürol Irzik)、Robert Pennock (2002)、Cassandra Pinnick (2005, 2008)、Demetris Portides (2007)、Jürgen Renn (2013)、Michael Ruse (1990)、Harvey Siegel (1979, 1989, 1993, 1997, 2004)、Peter Slezak (2000, 2014)、Wallis Suchting (1992, 1995)、Paul Thagard (2010 with S. Finlay, 2011) 和 Emma Tobin (2013)。
2. 其中至少包括：Fabio Bevilacqua (1996 with E. Giannetto)、William Brock (1989, 2014 with Edgar Jenkins)、John Hedley Brooke (2010)、Ricardo Lopes Coelho (2007, 2009)、David Depew (2010)、John Heilbron (1983)、Mercé Izquierdo-Aymerich (2013)、Helge Kragh (1992, 1998, 2014) 和 Cibelle Celestino Silva (2007)。
3. 至少包括：Hermeneutics and Science Education, 1995, 4(2); Religion and Science Education, 1996, 5(2); Philosophy and Constructivism in Science Education, 1997, 6(1-2); Galileo and Science Education, 1999, 8(2); Thomas Kuhn and Science Education, 9(1-2); Constructivism and Science Education, 2000, 9(6); Science Education and Positivism: A Re-evaluation, 2004, 13(1-2); Models in Science and in Science Education, 2007, 16(7-8); Feminism and Science Education, 2008, 17(10); Science, Worldviews and Education, 2009, 18(6-7); Darwinism and Education, 2010, 19(4-5, 6-8); Philosophical Considerations in the Teaching of Biology, 2013, 22 (1-3); Philosophical Considerations in the Teaching of Chemistry, 2013, 22(7); Mendel, Mendelism and Education, 2015, 24; Conceptual Change in Science and in Science Education, 2014, 23。
4. 关于科学史与科学哲学之间的联系，有用的论述可以参见以下作者的文章：Hacking (1992)、Lakatos (1971)、McMullin (1970, 1975)、Shapere (1977) 和 Wartofsky (1976)。
5. 一些有简介的历史性文章可以参见马修斯 (1989)。
6. 有大量的文献支持通识教育的理论与实践。有时这个说法会被称为“普通 (general) 教育”或者“人文 (humanistic) 教育”。Peters (1966, Chapters 1, 2) 以及 Bantock (1981, Chapters 4) 对此惯例有很多具有帮助性的介绍。

7. AAAS在《面向全体美国人的科学》中列出了西方主流社会与文化中具有重要影响的十个历史片段,这应当被全体公民所掌握(Rutherford & Ahlgren 1990, Chapter 10)。
8. 最具有影响力的是: NRC's National Science Education Standards (NRC 1996)、Inquiry and the National Science Education Standards (NRC 2000)、America's Lab Report (NRC 2006)、Taking Science to School (NRC 2007)、A Framework for K-12 Science Education (NRC 2012)和 Next Generation Science Standards (NRC 2013)、the AAAS's Science for All Americans (AAAS 1989)、The Liberal Art of Science (AAAS 1990) 和 Benchmarks for Science Literacy (AAAS 1993)。
9. 关于欧洲科学教育改革的研究文献,特别是HPS在这些改革中的地位,可以参见Dibattista与Morgese(2014)的综述。
10. 米勒的研究可以参见Anelli(2011)、Hobson(2008)和Trefil(2008, chapter 6)的综述。
11. 参见DeBoer(2000)、Laugksch(2000)、Roberts(2007)和Shamos(1995)。
12. 关于这点参见Chapman(1993)、Feinstein(2011)和Wynne(2007)。
13. 最近关于超自然与伪科学信仰最持久的讨论可见Carl Sagan(1997)以及Michael Shermer(1997)。同时也可参见Mario Bunge(2011)以及《科学与教育》2011年20卷5-6期中关于伪科学的主题。一部经典的关于这个主题的历史研究在100多年前由W.E.H. Lecky(1914)发表。
14. 2014年,民众想要坐在这样的位置需要支付每小时200美金的费用,在赛多纳,大多数宇宙、灵魂、超世界的服务收费标准也基本类似。
15. 在19世纪末到20世纪初的“科学人”中,接受唯心论以及各种各样精神活动的人不在少数,而奥利弗·洛奇只是其中之一。通过心灵研究学会,容易受骗的民众曾给洛奇写过2,710封信。前天主教父、哲学教授约瑟夫·麦凯布(Joseph McCabe)(1867—1955)曾就洛奇的唯心论者—神学—哲学架构撰写过一篇令人信服的批判文章(McCabe, 1914)。但不幸的是,麦凯布在宗教、哲学、教堂历史以及大众科学方面的大量出版物目前仍不为人所知,但是可以参见库克(Cooke)的文章(2001)。
16. 一些好的关于“科学与其评论家”的内容可以参见Passmore(1978)、Gress(1996)以及Koertge(1998)。
17. 2010年6月,在牛津大学中心举行的关于伊斯兰研究的演讲可以参见以下网址: www.princeofwales.gov.uk/media/speeches。

参考文献

- AAAS (American Association for the Advancement of Science): 1989, *Project 2061: Science for All Americans*, AAAS, Washington, DC. Also published by Oxford University Press, 1990.
- AAAS (American Association for the Advancement of Science): 1990, *The Liberal Art of Science: Agenda for Action*, AAAS, Washington, DC.
- AAAS (American Association for the Advancement of Science): 1993, *Benchmarks for Science Literacy*, Oxford University Press, New York.
- Aikenhead, G.S.: 1997, 'Towards a First Nations Cross-Cultural Science and Technology Curriculum', *Science Education* 81(2), 217-238.
- Anelli, C.: 2011, 'Scientific Literacy: What Is It, Are We Teaching It, and Does It Matter?' *American Entomologist* 57(4), 235-243.
- Ashby, C.M.: 2006, *Higher Education: Science, Technology, Engineering, and Mathematics Trends and the Role of Federal Programs*. U.S. Government Accountability Office, Washington, DC (Education Resources

- Information Center Document ED 491614).
- Bantock, G.H.: 1981, *The Parochialism of the Present*, Routledge & Kegan Paul, London.
- Bevilacqua, F. and Giannetto, E.: 1996, 'The History of Physics and European Physics Education', *Science & Education* 5(3), 235-246.
- Bhargava, P.M. and Chakrabarti, C. (eds): 2010, *Devils and Science: A Collection of Articles on Scientific Temper*, National Book Trust, New Delhi, India.
- Brock, W.H. and Jenkins, E.W.: 2014, 'Frederick W. Westaway and Science Education: An Endless Quest'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 2359-2382.
- Brock, W.H.: 1989, 'History of Science in British Schools: Past, Present and Future'. In M. Shortland and A. Warwick (eds) *Teaching the History of Science*, Oxford, Basil Blackwell, pp. 30-41.
- Brooke, J.H.: 2010, 'Darwin and Religion: Correcting the Caricatures', *Science & Education* 19(4-5), 391-405.
- Brush S.G.: 1969, 'The Role of History in the Teaching of Physics', *The Physics Teacher* 7(5), 271-280.
- Bunge, M.: 2000, 'Energy: Between Physics and Metaphysics', *Science & Education* 9(5), 457-461.
- Bunge, M.: 2003, 'Twenty-Five Centuries of Quantum Physics: From Pythagoras to Us, and from Subjectivism to Realism', *Science & Education* 12(5-6), 445-466.
- Bunge, M.: 2011, 'Knowledge: Genuine and Bogus', *Science & Education* 20(5-6), 411-438.
- Carrier, M.: 2013, 'Values and Objectivity in Science: Value-Ladenness, Pluralism and the Epistemic Attitude', *Science & Education* 22(10), 2547-2568.
- Chapman, B.: 1993, 'The Overselling of Science Education in the 1980s'. In R. Levinson (ed.) *Teaching Science*, Routledge, New York, pp. 192-207.
- Chang, H.: 2011, 'How Historical Experiments Can Improve Scientific Knowledge and Science Education: The Cases of Boiling Water and Electrochemistry', *Science & Education* 20(3-4), 317-341.
- Coelho, R.L.: 2007, 'The Law of Inertia: How Understanding Its History Can Improve Physics Teaching', *Science & Education* 16(9-10), 955-974.
- Coelho, R.L.: 2009, 'On the Concept of Energy: How Understanding its History Can Improve Physics Teaching', *Science & Education* 18(8), 961-983.
- Cohen, R.S.: 1964, 'Individuality and Common Purpose: The Philosophy of Science', *The Science Teacher* 31(4). Reprinted in *Science & Education* 3(4), 1994.
- Collins, H.M. and Pinch, T.: 1992, *The Golem: What Everyone Should Know About Science*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Cooke, B.: 2001, *Joseph McCabe and Rationalism*, Prometheus Books, Amherst, NY.
- Cordero, A.: 1992, 'Science, Objectivity and Moral Values', *Science & Education* 1(1), 49-70.
- Cordero, A.: 2009, 'Contemporary Science and Worldview-Making', *Science & Education* 18(6-7), 747-764.
- Crombie, A.C.: 1981, 'Philosophical Presuppositions and the Shifting Interpretations of Galileo'. In J. Hintikka, D. Gruender and E. Agazzi (eds) *Theory Change, Ancient Axiomatics, and Galileo's Methodology*, Reidel, Boston, MA, pp. 271-286. Reproduced in A.C. Crombie, *Science, Optics and Music in Medieval and Early Modern Thought*, The Hambledon Press, London, 1990, pp. 345-362.
- DeBoer, G.E.: 2000, 'Scientific Literacy: Another Look at Its Historical and Contemporary Meanings, and Its Relationship to Science Education Reform', *Journal of Research in Science Teaching* 37(6), 582-601.
- Depew, D.J.: 2010, 'Darwinian Controversies: An Historiographical Recounting', *Science & Education* 19(4-5), 323-366.
- Dibattista, L. and Morgese, F.: 2014, 'Incorporation of History and Philosophy of Science and Nature of Science Content in School and Teacher Education Programmes in Europe'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 2083-2117.

- EC (European Commission): 2004, *Europe Needs More Scientists! Increasing Human Resources for Science and Technology in Europe*, Brussels. Available at: http://ec.europa.eu/research/conferences/2004/sciprof/pdf/final_en.pdf
- Elkana, Y.: 1970, 'Science, Philosophy of Science, and Science Teaching', *Educational Philosophy and Theory* 2, 15-35.
- Ennis, R.H.: 1979, 'Research in Philosophy of Science Bearing on Science Education'. In P.D. Asquith and H.E. Kyburg (eds) *Current Research in Philosophy of Science*, PSA, East Lansing, MI, pp. 138-170.
- Feigl, H.: 1955, 'Aims of Education for Our Age of Science: Reflections of a Logical Empiricist'. In N.B. Henry (ed.) *Modern Philosophies and Education: The Fifty-fourth Yearbook of the National Society for the Study of Education*, University of Chicago Press, Chicago, IL, pp. 304-341. Reprinted in *Science & Education* 13(1-2), 2004.
- Feinstein, N.: 2011, 'Salvaging Science Literacy', *Science Education* 95, 168-185.
- Frank, P.: 1947/1949, 'The Place of Philosophy of Science in the Curriculum of the Physics Student', *American Journal of Physics* 15 (3), 202-218. Reprinted in his *Modern Science and Philosophy*, Harvard University Press, Harvard, pp. 228-259.
- Gallup Jr, G.H. and Newport, F.: 1991, 'Belief in Paranormal Phenomena Among Adult American', *Skeptical Inquirer* 15, 137-147.
- Grandy, R.E.: 1997, 'Constructivism and Objectivity: Disentangling Metaphysics From Pedagogy', *Science & Education* 6(1-2), 43-53. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *Constructivism in Science Education: A Philosophical Examination*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 113-123.
- Gross, P.R., Levitt, N. and Lewis, M.W. (eds): 1996, *The Flight from Science and Reason*, New York Academy of Sciences, New York (distributed by Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD).
- Hacking, I.: 1992, "'Style" for Historians and Philosophers', *Studies in History and Philosophy of Science* 23(1), 1-20.
- Harré, R.: 1983, 'History & Philosophy of Science in the Pedagogical Process', in R.W. Home (ed.) *Science under Scrutiny*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands, pp. 139-157.
- Heilbron, J.L.: 1983, 'The Virtual Oscillator as a Guide to Physics Students Lost in Plato's Cave'. In F. Bevilacqua and P.J. Kennedy (eds) *Using History of Physics in Innovative Physics Education*, Pavia, Italy, pp. 162-182. Reprinted in *Science & Education* 3(2), 1994, 177-188.
- Heilbron, J.L.: 1987, 'Applied History of Science', *ISIS* 78, 552-563.
- Hobson, A.: 2008, 'The Surprising Effectiveness of College Scientific Literacy Courses', *The Physics Teacher* 46, 404-406.
- Holton, G.: 1975, 'Science, Science Teaching and Rationality'. In S. Hook, P. Kurtz and M. Todorovich (eds) *The Philosophy of the Curriculum*, Prometheus Books, Buffalo, NY, pp. 101-118.
- Holton, G.: 1978, 'On the Educational Philosophy of the Project Physics Course'. In *The Scientific Imagination: Case Studies*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 284-298.
- Husserl, E.: 1954/1970, *The Crisis of European Sciences and Transcendental Phenomenology*, Northwestern University Press, Evanston, IL.
- Irzik, G.: 2013, 'Introduction: Commercialization of Academic Science and a New Agenda for Science Education', *Science & Education* 22(10), 2375-2384.
- Irzik, G. and Nola, R.: 2011, 'A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education', *Science & Education* 20(7-8), 591-607.
- Irzik, G. and Nola, R.: 2014, 'New Directions in Nature of Science Research'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 999-1021.
- Izquierdo-Aymerich, M.: 2013, 'School Chemistry: An Historical and Philosophical Approach', *Science & Education* 22(7), 1633-1653.
- Kampourakis, K. (ed.): 2013, *The Philosophy of Biology: A Companion for Educators*, Springer, Dordrecht, The

Netherlands.

- Koertge, N. (ed.): 1998, *A House Built on Sand: Exposing Postmodern Myths about Science*, Oxford University Press, New York.
- Koertge, N.: 1969, 'Towards an Integration of Content and Method in the Science Curriculum', *Curriculum Theory Network* 4, 26-43. Reprinted in *Science & Education* 5(4), 1996, 391-402 (with afterthoughts).
- Kosso, P.: 2009, 'The Large-scale Structure of Scientific Method', *Science & Education* 18(1), 33-42.
- Kragh, H.: 1992, 'A Sense of History: History of Science and the Teaching of Introductory Quantum Theory', *Science & Education* 1(4), 349-364.
- Kragh, H.: 1998, 'Social Constructivism, the Gospel of Science and the Teaching of Physics', *Science & Education* 7(3), 231-243. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *Constructivism in Science Education: A Philosophical Examination*, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 125-137.
- Kragh, H.: 2014, 'The Science of the Universe: Cosmology and Science Education'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 643-665.
- Lacey, H.: 2009, 'The Interplay of Scientific Activity, Worldviews and Value Outlooks', *Science & Education* 18(6-7), 839-860.
- Lakatos, I.: 1971, 'History of Science and Its Rational Reconstructions'. In R.C. Buck and R.S. Cohen (eds) *Boston Studies in the Philosophy of Science* 8, pp. 91-135.
- Lakatos, I.: 1978, 'History of Science and Its Rational Reconstructions'. In J. Worrall and G. Currie (eds) *The Methodology of Scientific Research Programmes: Volume I*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 102-138 (originally 1971).
- Laugksch, R.C.: 2000, 'Scientific Literacy: A Conceptual Overview', *Science Education* 84, 71-94.
- Lecky, W.E.H.: 1914, *History of the Rise and Influence of the Spirit of Rationalism in Europe*, 2 volumes, D. Appleton, New York.
- McCabe, J.: 1914, *The Religion of Sir Oliver Lodge*, Watts, London.
- Machamer, P.: 1992, 'Philosophy of Science: An Overview for Educators'. In R.W. Bybee, J.D. Ellis, J.R. Giese and L. Parisi (eds) *Teaching About the History and Nature of Science and Technology: Background Papers*, BSCS/SSEC, Colorado Springs, pp. 9-18. Reprinted in *Science & Education* 7(1), 1998, 1-11.
- McMullin, E.: 1970, 'The History and Philosophy of Science: A Taxonomy', *Minnesota Studies in the Philosophy of Science* 5, 12-67.
- McMullin, E.: 1975, 'History and Philosophy of Science: a Marriage of Convenience?', *Boston Studies in the Philosophy of Science* 32, 515-531.
- Mahner, M.: 2012, 'The Role of Metaphysical Naturalism in Science', *Science & Education* 21(10), 1437-1459.
- Mahner, M.: 2014, 'Science, Religion, and Naturalism: Metaphysical and Methodological Incompatibilities'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1793-1835.
- Mahner, M. and Bunge, M.: 1996, 'Is Religious Education Compatible With Science Education?' *Science & Education* 5(2), 101-123.
- Martin, M.: 1971, 'The Use of Pseudo-Science in Science Education', *Science Education* 55, 53-56.
- Martin, M.: 1972, *Concepts of Science Education: A Philosophical Analysis*, Scott, Foresman, New York (reprint, University Press of America, 1985).
- Martin, M.: 1974, 'The Relevance of Philosophy of Science for Science Education', *Boston Studies in Philosophy of Science* 32, 293-300.
- Martin, M.: 1986/1991, 'Science Education and Moral Education', *Journal of Moral Education* 15(2), 99-108. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto, 1991, pp. 102-114.

- Matthews, M.R. (ed.): 1989, *The Scientific Background to Modern Philosophy*, Hackett Publishing, Indianapolis, IN.
- Matthews, M.R. (ed.): 1991, *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto.
- Matthews, M.R. (ed.): 2009, *Science, Worldviews and Education*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Matthews, M.R. (ed.): 2014, *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, 3 volumes, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Miller, J.D.: 1983, 'Scientific Literacy: A Conceptual and Empirical Review', *Daedalus* 112(2), 29-47.
- Miller, J.D.: 1987, 'Scientific Literacy in the United States'. In E. David and M. O'Connor (eds) *Communicating Science to the Public*, John Wiley, London.
- Miller, J.D.: 1992, *The Public Understanding of Science and Technology in the United States, 1990*, National Science Foundation, Washington, DC.
- Miller, J.D.: 2007, 'Public understanding of science in Europe and the United States'. Paper presented at the 2007 annual meeting of AAAAS.
- Nagel, E.: 1969, 'Philosophy of Science and Educational Theory' *Studies in Philosophy and Education* 7(1), 16-27. Reprinted in J. Park (ed.), *Selected Readings in Philosophy of Education*, Macmillan, New York, 1974.
- Nagel, E.: 1975, 'In Defense of Scientific Knowledge'. In S. Hook, P. Kurtz and M. Todorovich (eds) *The Philosophy of the Curriculum: The Need for General Education*, Prometheus Books, Buffalo, NY, pp. 119-126.
- NCC (National Curriculum Council): 1988, *Science in the National Curriculum*, NCC, York, UK.
- Nola, R.: 1997, 'Constructivism in Science and in Science Education: A Philosophical Critique', *Science & Education* 6(1-2), 55-83. Reproduced in M.R. Matthews (ed.), *Constructivism in Science Education: A Philosophical Debate*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1998, pp. 31-59.
- Nola, R.: 2003, "'Naked Before Reality; Skinless Before the Absolute": A Critique of the Inaccessibility of Reality Argument in Constructivism', *Science & Education* 12(2), 131-166.
- Nola, R. and Irzik, G.: 2005, *Philosophy, Science, Education and Culture*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- NRC (National Research Council): 1996, *National Science Education Standards*, National Academies Press, Washington, DC.
- NRC (National Research Council): 2000, *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*, National Academies Press, Washington, DC.
- NRC (National Research Council): 2006, *America's Lab Report: Investigations in High School Science*, National Academies Press, Washington, DC.
- NRC (National Research Council): 2007, *Taking Science to School. Learning and Teaching Science in Grades K-8*, National Academies Press, Washington, DC.
- NRC (National Research Council): 2012, *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*, National Academies Press, Washington, DC.
- NRC (National Research Council): 2013, *Next Generation Science Standards*, National Academies Press, Washington, DC.
- Passmore, J.A.: 1978, *Science and Its Critics*, Rutgers University Press, New Brunswick, NJ.
- Pennock, R.T.: 2002, 'Should Creationism be Taught in the Public Schools?', *Science & Education* 11(2), 111-133.
- Peters, R.S.: 1966, *Ethics and Education*, George Allen & Unwin, London.
- Pinnick, C.L.: 2005, 'The Failed Feminist Challenge to "Fundamental Epistemology"', *Science & Education* 14(2), 103-116.
- Pinnick, C.L.: 2008, 'Science Education for Women: Situated Cognition, Feminist Standpoint Theory, and the Status of Women in Science', *Science & Education* 17(10), 1055-1063.
- Portides, D.: 2007, 'The Relation Between Idealisation and Approximation in Scientific Model Construction', *Science & Education* 16(7-8), 699-724.
- Quine, W.V.O.: 1960, *Word and Object*, MIT Press, Cambridge, MA.

- Reichenbach, H.: 1938, *Experience and Prediction: An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Renn, J.: 2013, 'Einstein as a Missionary of Science', *Science & Education* 22(10), 2569-2591.
- Roberts, D.A.: 2007, 'Scientific Literacy/Science Literacy'. In S.K. Abell and N.G. Lederman (eds) *Handbook of Research in Science Education*, Erlbaum, Mahwah, NJ, pp. 729-779.
- Ruse, M.: 1990, 'Making Use of Creationism: A Case-study for the Philosophy of Science Classroom', *Studies in Philosophy and Education* 10(1), 81-92.
- Rutherford, F.J. and Ahlgren, A.: 1990, *Science for All Americans*, Oxford University Press, New York.
- Sagan, C.: 1997, *The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark*, Headline, London.
- Scheffler, I.: 1973, 'Philosophy and the Curriculum'. In his *Reason and Teaching*, Bobbs-Merrill, Indianapolis, IN, pp. 31-41.
- Science Council of Canada (SCC): 1984, *Science for Every Student: Educating Canadians for Tomorrow's World*, Report 36, SCC, Ottawa Canada.
- Shamos, M.: 1995, *The Myth of Scientific Literacy*, Rutgers University Press, New Brunswick, NJ.
- Shapere, D.: 1977, 'What Can the Theory of Knowledge Learn From the History of Knowledge?', *The Monist* LX(4), 488-508. Reproduced in his *Reason and the Search for Knowledge*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands, pp. 182-202.
- Shermer, M.: 1997, *Why People Believe Weird Things: Pseudoscience, Superstition, and Other Confusions of Our Time*, W.H. Freeman, New York.
- Siegel, H.: 1979, 'On the Distortion of the History of Science in Science Education', *Science Education* 63, 111-118.
- Siegel, H.: 1989, 'The Rationality of Science, Critical Thinking, and Science Education', *Synthese* 80(1), 9-42. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto and Teachers College Press, New York, 1991.
- Siegel, H.: 1993, 'Naturalized Philosophy of Science and Natural Science Education', *Science & Education* 2(1), 57-68.
- Siegel, H.: 1997, 'Science Education: Multicultural and Universal', *Interchange* 28(2-3), 97-108.
- Siegel, H.: 2004, 'The Bearing of Philosophy of Science on Science Education, and Vice Versa: The Case of Constructivism', *Studies in History and Philosophy of Science*, 35A, 185-198.
- Silva, C.C.: 2007, 'The Role of Models and Analogies in the Electromagnetic Theory: A Historical Case Study', *Science & Education* 16(7-8), 835-848.
- Slezak, P.: 2000, 'A Critique of Radical Social Constructivism'. In D.C. Phillips (ed.) *Constructivism in Education: 99th Yearbook of the National Society for the Study of Education*, NSSE, Chicago, IL, pp. 91-126.
- Slezak, P.: 2014, 'Constructivism in Science Education'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1023-1055.
- Suchting, W.A.: 1992, 'Constructivism Deconstructed', *Science & Education* 1(3), 223-254. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *Constructivism in Science Education: A Philosophical Examination*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1998, pp. 61-92.
- Suchting, W.A.: 1995, 'The Nature of Scientific Thought', *Science & Education* 4(1), 1-22.
- Suppe, F. (ed.): 1977, *The Structure of Scientific Theories*, University of Illinois Press, Urbana, IL.
- Taylor, R.S. and Ferrari, M. (eds): 2011, *Epistemology and Science Education: Understanding the Evolution vs. Intelligent Design Controversy*. Routledge, New York.
- Thagard, P.: 2011, 'Evolution, Creation, and the Philosophy of Science'. In R.S. Taylor and M. Ferrari (eds) *Epistemology and Science Education: Understanding the Evolution vs. Intelligent Design Controversy*, Routledge, New York, pp. 20-37.

- Thagard, P. and Findlay, S.: 2010 'Getting to Darwin: Obstacles to Accepting Evolution by Natural Selection', *Science & Education* 19(6-8), 625-636.
- Tobin, E.: 2013, 'Chemical Laws, Idealization and Approximation', *Science & Education* 22(7), 1581-1592.
- Trefil, J.S.: 2008, *Why Science?* Teachers College Press, New York.
- Wartofsky, M.W.: 1976, 'The Relation Between Philosophy of Science and History of Science'. In R.S. Cohen, P.K. Feyerabend and M.W. Wartofsky (eds) *Essays in Memory of Imre Lakatos*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands, pp. 717-738. (*Boston Studies in the Philosophy of Science* 39.) Republished in his *Models*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands, 1979.
- Whitehead, A.N.: 1947, 'Technical Education and Its Relation to Science and Literature'. In his *The Aims of Education and Other Essays*, Williams & Norgate, London, pp. 66-92.
- Wynne, B.: 2007, 'Dazzled by the Mirage of Influence?' *Science, Technology & Human Values* 32(4), 491-503.

为了更好地理解将历史与哲学融入当代科学教学——有时我们也称之为科学本质的教学（*nature of science, NOS*）——的原因，追溯到欧洲启蒙运动时期是很有帮助的。为了扩充我们在自然世界与社会环境方面的知识、促进文化和社会生活更好地发展，尽管与教育的启蒙传统发展并不同步，在科学家、哲学家和历史学家参与教育方面，科学史和科学哲学融入科学教学与传统的教育启蒙运动有很多共同之处。

欧洲启蒙运动

18世纪启蒙运动哲学家约翰·洛克（John Locke）（1632—1704）、巴鲁赫·斯宾诺莎（Baruch Spinoza）（1632—1677）、伏尔泰（Voltaire）（1694—1778）、让·达朗贝尔（Jean D'Alembert）（1717—1783）、丹尼斯·狄德罗（Denis Diderot）（1713—1784）、尼古拉斯·德孔多塞（Nicolas de Condorcet）（1743—1794）、于连·德拉美特利（Julien de la Mettrie）（1709—1751）、大卫·休谟（David Hume）（1711—1776），后期的本杰明·富兰克林（Benjamin Franklin）（1706—1790）、约瑟夫·普里斯特利（Joseph Priestley）（1733—1804）、托马斯·杰斐逊（Thomas Jefferson）（1743—1826）和伊曼努尔·康德（Immanuel Kant）（1724—1804）等人都从17世纪新科学的巨大成就中深受启发。18世纪的启蒙运动是17世纪科学革命的重要成果。以赛亚·伯林（Isaiah Berlin）曾经这样评价道：

“18世纪的天才思想家们所具备的智力、正直、洞察力、勇气和
对真理的无私热爱直到今日都是其他时期的科学家无可匹敌的。他们所处的时代，是人类历史上最充满希望的时期之一。”

（Berlin 1956, p. 29）

我们有充分的理由称它为“理性时代”。早期现代哲学家和启蒙运动时期的哲学家相信时代的进步，他们认为，怀揣理性、秉承杰出的自然科学家如伽利略（Galileo）、惠更斯（Huygens）和牛顿（Newton）的方法可以使社会生活和社会结构越变越好，人们可以有更加幸福、充实的人生。这些人对社会改革的热忱是不同的（牛顿反对罗马天主教徒进入剑桥大学），他们对一个好的国家的构想也是不同的，然而，他们有着共同的核心信仰：言论自由、结社自由、受教育权、政教分离，其中包括法律（亵渎神明不应该定为犯罪，其他法律方面的分离更难实现）、教育（教会不应该垄断或控制教学）和国家事务（不应当使用宗教测试来决定公务人员的聘用或升职）的分离。

很多启蒙运动哲学家持有关于哲学、宗教和政治的不同观点¹，关于中立和激进的划分上并没有太严格的区别²。尽管如此，下面的观点或许会被认为是启蒙运动的核心条款³：

1. 普世主义：所有正常人具有相似的本性，因此，他们都有获取知识的能力，并且都要受伦理道德的约束。普世主义关于“法律和人权”的部分是由普世主义关于“自然法则和科学解释”的部分发展而来的⁴。

2. 客观性：事实上，无论特殊还是一般，都存在着客观的对与错。

3. 合理性：原则上，人类个体有根据事实真相判定命题对错的能力。

4. 经验论：决定事实真相的时候需要凭借感官证据。

5. 科学主义：为获得社会、政治、道德和宗教方面的知识，在社会、政治、道德和宗教领域的研究中需要遵循新的自然科学方法。

6. 反天启论：自然神学方法是神学方法中唯一合理的方法，有关上帝的知识被限制为能够从经验和自然界中推理得出的知识。由此，推理用于判断假定的启示。

7. 自然主义：由科学揭示的事实是世界上唯一的真实存在，并能够用来解释事件，这其中不一定非要蕴含唯物主义。需要否定神话与迷信。

8. 实用主义：伦理规范的制定要依据个人和社会实用性，而不依据宗教或它们对来世的影响，同样也不依据任何假定本体论背景。

9. 乐观主义：通过合理推理和正确引导，人类和社会能够也应该得到改善。

10. 独立性：牧师或宗教权威在判定世界、道德、政治、甚至宗教真理上没有特殊的方法，仅仅跟随独裁主义的权威声明远远不够，遵循正确方法的个人推理才是至关重要的。

历史学家玛格利特·雅各布（Margaret Jacob）完美地诠释了新科学运动对形成欧洲社会早期启蒙运动的贡献：

“公民社会的建立——或者说国家之间，以及国外、国内相对自由交流区的建立要归功于科学。实验科学的发展需要志愿团体并且需要在独立受众的引导下进行实践检验，不管它原来的组成是绅士还是寡头政治。”

（Jacob 1998, p. 242）

启蒙运动哲学家（和自然哲学家）相信新科学的方法应该用于解决当代那些看似棘手的社会、政治、宗教、哲学和文化问题，并希望在处理自然世界的问题时也能够产生同样明显的成效。让·勒朗·达朗贝尔相信“正确思维”的作用正是如此。他认为，如果将数学家偷渡到西班牙，他们清晰、理性的思维将会广泛传播，并动摇宗教法庭（Hankins 1985, p. 2）的地位。在这一点上显然是感性支配了理性。1759年，达朗贝尔在写作的时候很好地捕捉到了18世纪许多知识分子的热忱和思想：

“我们的世纪被称为……最卓越的哲学世纪……新哲学思维方法的发现和应用，伴随着探索发现产生的热情、宇宙勾画出的景象，给人们的思想带来兴奋——所有这一切都使得思想变得生机勃勃，如河坝裂开后奔涌的河水，席卷了整个自然界。”

（Cassirer 1932/1951, p. 3-4）

此外，还有很多头脑清醒的思想家认为：17世纪的欧洲社会远不及理想中的“伊甸园”。至少以下这些证据可以证实整个社会正遭受可怕弊病的攻击⁵：伽利略的高产时期，惨不忍睹的三十年战争（Thirty Years War）（1618—1648）席卷了整个欧洲——包括德国、法国、意大利、西班牙、葡萄牙和荷兰，甚至波及西印度群岛和南美洲。在德国，人们普遍认为接近德国人口总数15%到20%的天主教徒和新教徒被屠杀。对天主教和新教教会异教徒的酷刑、火刑和绞刑在公开的宗教战争结束之前持续了

长达几个世纪的时间。1834年，西班牙宗教法庭绞死的最后一名异教徒是一名信仰自然神论的教师（Burman 1984, p. 207）。随着宗教战争和狂热的宗教审判，巫术也席卷了欧洲，并在法国、瑞士、德国、苏格兰地区引发了极为严重的流血事件。在1591年—1680年的90年间，瑞士沃州有3,371名妇女从事巫术，最终都被处死（Koenigsberger 1987, p. 136）。牛顿定律发表五年后，马萨诸塞州发生了塞勒姆（Salem）女巫审判案。截至1773年底，牛顿定律发表将近100年，苏格兰基督长老教会重申其在巫术上的信仰，而在19世纪早期，信奉天主教的西班牙成为欧洲最后一个在火刑柱上烧死女巫的国家。

庆幸的是，包括一些宗教社会改革家在内的很多人（如果把一些不合时宜的人也算在内），认为社会应当向着更好的方向发展。就连西班牙宗教审判官阿朗佐·萨拉萨尔·德弗里亚斯（Alonzo Salazer de Frias）也曾怀疑女巫的盛行甚至存在。1612年（伽利略发明望远镜后的第2年），他写了一份颇有先见之明的报告：

“我确信在当前这种情况下，着实没有必要颁布新的法令或者进一步延长现存法令。更进一步说，目前公众的心理已经存在病态现象，任何波动性的事件都将是有害的，还会助长恶行。从经验中我推断，在‘不存在女巫或者巫术’这种事情可以公开讨论或撰写之前，缄默才是最好的方法。”

（Burman 1984, p. 182）⁶

然而，启蒙运动哲学家有意识地想要了解事情的起因，并进一步改善这种“公众心理的病态现象”，这是这位宗教审判官的原话。

在过去半个世纪，关于教育高于启蒙运动的价值及其与启蒙思想的联系存在着持续不断的争议。许多研究者——特别是女权主义者、建构主义者、后现代主义者和多元文化论者——谴责启蒙运动及启蒙运动的价值和哲学假说。迈克尔·彼得斯（Michael Peters），一位颇具影响力的杂志和丛书编辑，是此类言论的主要代表。彼得斯受福柯（Foucault）和其他后现代主义者的影响，主张一种新的教育哲学：

“最重要的是要重新审视‘主体哲学’（人，而非学科），将主体中心理性作为支撑现代教育理论和现代通识教育基础的一部分……

这一系列的哲学研究可能会质疑现代‘教育主体’的方式。这种‘教育主体’建立在欧洲普世主义和理性主义基础之上，而这两者又得到了传承于启蒙运动的高度个人主义设想的支持。由于意识到了西方种族主义的危害和对差异性的批判性理解，这种教育哲学将会提供组成主观性的方法——这种方法将在论述与实践水平上认可并重新定义代表与权力之间的关系。”

(Peters 1995, pp. 327-328)

不管一个人对该种说法了解多少，很明显，对于这种说法而言HPS是十分恰当贴切的。这也正是本书的主要论题——为诸多类似的论辩加以说明。如果没有HPS，那些教育主张只能散发热量，却无法散发太多光芒。

启蒙传统

17世纪的英格兰伴随着英国皇家学会的成立，见证了波义耳(Boyle)、胡克(Hooke)、牛顿及许多成就稍逊于他们的人物取得的科学成就⁷。这种新科学所孕育的思想和观点成为迅速崛起的欧洲启蒙运动的基础。18世纪早期，英格兰成为欧洲的导师。正如一位历史学家所述：“18世纪30年代到40年代……实际上，英语几乎成为欧洲大小事务的必须……几乎到处都在歌颂和崇拜牛顿和洛克”(Israel 2001, p. 515)。17世纪的科学革命如同一粒种子，萌发出18世纪启蒙运动的枝丫，最终孕育出它在哲学、神学、政治和教育领域的果实。机械力学、天文学、钟表学、医药学等其他领域的科学成果也同样举世瞩目。随着德国利奥波第那科学院(1652)、英国皇家学会(1660)、法国皇家科学院(1666)的建立，这些“自然哲学”逐渐走向制度化。然而，正如种子的成长需要充足的营养和良好的环境，没有人相信伽利略望远镜或牛顿万有引力定律与欧洲启蒙运动之间的因果关系，但是如果没有17世纪的科学革命，启蒙运动是不可能在那时那地发生的。

大卫·休谟在《英国历史》中这样描述牛顿：“有史以来最伟大、最珍贵的天才，从没有人像他这般装点和引领了人类的进步。”(Hume 1754—1762/1828, Vol.IV, p. 434)。当然，这是一个英国人对英国人的评价，但休谟所说的牛顿在17世纪科学领域的杰出地位同样也是大众

的观点。牛顿曾在写给罗伯特·胡克 (Robert Hooke) (1676年2月5日)的信中说过这样一句名言：“如果说我看得远，那是因为我站在巨人的肩膀上”。而这些巨人就包括了伽利略、开普勒 (Kepler) 和惠更斯。《原理》(Newton 1713 / 1934)、《光学》(Newton 1730 / 1979) 为现代科学的发展奠定了基础，并为启蒙运动点亮了明灯。牛顿自身也是这样一个巨人，在他的《原理》出版后的十年间，约翰·洛克 (John Locke) 写了五部启蒙运动主要读本 (Locke 1689 / 1924, 1689 / 1983, 1690 / 1960, 1693 / 1996) 以及《教育漫话》(Locke 1693 / 1968)。

牛顿认为，如果把新科学的方法应用到其他领域将会产生深远的影响。正如他所说的那样：“如果自然哲学的所有组成部分都遵循这种方法，那么自然科学最终将得以完善，道德哲学的范围也将因此得以扩大” (Newton 1730/1979, p. 405)。牛顿将科学方法应用到历史问题研究中，他锲而不舍地对《圣经》进行了详细的研究，此后经扩展，于1728年牛顿逝世后出版了巨著《古代王国编年史》。他一丝不苟地钻研《圣经》的多个译本，从中寻找原作者的证据并评价不同的译本；他利用他认为科学的和批判性的方法研究圣经、教堂历史和神学。这些研究让他相信三位一体的教义起源于希腊早期教会的腐朽思想，但是他非常聪明，保留了这些亵渎神明的看法，没有将它们发表。牛顿对《圣经》的诠释和对神学的研究远远超出了其对自然哲学的研究。不幸的是，在这些领域中，没有那么多“巨人的肩膀”可以让他站在上面⁸。

正如在第七章中我们将提到，在牛顿神学作品影响下的50年，约瑟夫·普里斯特利 (Joseph Priestley) 也将同样的方法应用于同样的素材并得出了同样的结果。但是，与牛顿不同，普里斯特利的哲学与社会信仰促使他将这些异端观点公开发表。早在米勒《论自由》发表50年前，普里斯特利就在争取自由的基本权利。他认为，自由表达和公开论辩是全部知识领域发展的先决条件——这些领域涵盖了科学、宗教、历史、政治以及其他一切学科。普里斯特利关于“开放社会”的主张要早于卡尔·波普尔 (Karl Popper) 150年。

大卫·休谟在他著名的《人性论》中，以副标题“将推理实验法引入道德主体的尝试”呼应了牛顿的期望 (Hume 1739/1888)。1782年，法国启蒙运动的主要哲学家尼古拉斯·德孔多塞 (1743—1794) 在法国

科学院发表获奖感言：“道德（社会）科学”最终将“遵循相同的方法，通过同样精准的语言，达到与自然科学同等程度的确定性”（Condorcet 1976, p.6）。

许多改革者认为，如果牛顿的研究手段与方法能够得到广泛应用，那么牛顿伟大的科学成就极有可能在自然哲学以外的领域得到复制。而这种思潮在17世纪欧洲的大环境下显得不足为奇。很多人希望新科学中的经验能够对文化、社会和个人生活等方面产生持续影响，教育在促使这些经验由院校流向公民中承担着重要的责任。

所有的启蒙运动哲学家都很关注教育，他们希望启蒙思想能在公民心中生根发芽，并结出丰硕的果实⁹。正是这种教育与教学的义务为他们使用母语写作和演讲、发行出版物供更多读者阅读、参与报纸及期刊的公众论辩、编写英法大百科全书等一系列工作奠定了基础。此外，他们还会撰写明确与教育相关的文章，其中洛克（1693/1996）、康德（1803/1899）和卢梭（Rousseau）（1762/1991）的著作在很长一段时间里对教育产生了深远的影响。洛克教育论著的开场白紧紧围绕启蒙运动的时代精神，即人文主义、自由、进步、个体与社会的完整性、对悲观主义宿命论的否定等¹⁰：

“可以说，在我们遇到的所有人中，根据他们所受的教育，十有八九可以判断出他们是怎样的人，是善良还是邪恶、是有用之才还是平庸之辈。教育使人产生了巨大差异。”

（Locke 1693/1968, p. 114）

教育家约瑟夫·普里斯特利

在近代倡导“全民科学”运动的人当中，约瑟夫·普里斯特利不仅是最卓越、最著名的启蒙运动倡导者，还是当代HPS&ST的先驱。1733年，普里斯特利出生于英国约克郡，1804年卒于美国宾夕法尼亚州；他经历了欧洲启蒙运动最核心的年代，并在其中扮演着重要角色。他极具天赋、博学广闻，在很多研究领域都有开创性和持续性的影响。普里斯特利一生撰写了超过200本著作与文章，涉及的领域主要包括：科学史（尤其是电学和光学领域）、政治理论、神学、《圣经》批判学、语言论、

教育哲学与修辞学以及使他广为人知的化学等¹¹。他不仅在这些领域内具有渊博的知识，更重要的是他对所有知识领域间的相互关联有很深刻的见解。就普里斯特利而言，知识是不能分学科的：他将认识论（感觉论）与本体论（唯物论）相联系，两者均涉及神学（上帝一位论）和心理学（联想主义心理学），而这些内容都反映了他对政治和社会理论的见解（自由主义）。他是一位自觉的、系统的思想家，他一生所有的知识（包括他的整个人生）都具有整体一贯性。

普里斯特利宣扬启蒙运动的理念，认为好的教育是对个人和社会都有益的事情。他在《适当的教育对象》中写道（Priestley 1791）：

“人类社会有史以来发生的任何一场伟大运动都曾经是，也必须是……经过漫长艰苦的探索过程，最终成为人类心灵的启迪。”

尽管目前有很多重点提倡并广泛传播的教育思想，但是普里斯特利是少有的实践启蒙运动思想的人，他毕生投身于学校、教学和学习中。普里斯特利的教育观点是他系统思想的一个组成部分，他关于神学、哲学、认识论、心理学、社会学理论和科学的观点是一个连贯的整体。他在使用英语教育的国家中名垂史册，尤其在科学教育方面：

“在这个国家中，人们常常以受教育的程度对个人进行划分。然而在这些关于教育的主题中，我很遗憾地发现自然科学在这其中发挥的作用很小。如果我们想要为哲学尝试和哲学追求打好基础，人们需要尽早习惯实验和过程的视角，特别是尽早接触探究的理论与实践，将历史上已有的重大发现变成自己真正理解的一部分并从中获取更多价值。”

（Priestley 1790, p. xxix）

这是历史上首个有据可查的探究式教学之一，更具体地说是历史研究性教学，即遵循前人实验的脚步。从某种程度上说，这也是他撰写第一部光学史（Priestley 1772）¹²和电学史（Priestley, 1767/1775）¹³的部分原因。他认为，在自然研究中需要以下习惯和技能——观察、假设、寻找证据支持或反驳结论、进行对照实验——同时这些方法可以用于其

他领域的探究：比如宗教、心灵启示、政治、教会历史，等等。对于普里斯特利和大多数启蒙运动哲学家而言，科学是“受神庇佑的方法，它可以扫除一切错误和偏见，并终结所有宗教专制的权力，甚至包括科学本身。”（Priestley 1775—1777, Vol.I, p. xiv）。

普里斯特利在达文特里非国教学院接受了良好的批判式教育，在该学院所有学科的学习中，他都受到了活跃的辩论氛围的影响。非国教学院是非国教教徒和一般信徒对英国国教垄断英语学校以及大学教育的一种反击，有不少的人认为这种非国教垄断大学在培养人才和促进英格兰科学发展中扮演着重要的角色，而罗伯特·默顿（Robert Merton）就是其中之一（Merton 1938/1970, p. 119）。一位评论员曾提到：

“英格兰非国教徒被排除在国立大学之外。在这样一个作为人口和文明中心的工业化的英格兰中，我们必须寻找新的机构，以期诞生实用的、科学文化引领的新纪元。”

（Halevy, quoted in Brooke 1987, p. 11）

剑桥大学的牛顿给了他们启迪，然而这些非国教派人士（天主教徒、犹太人和无神论者）却被剑桥大学拒之门外。相比之下，“自由探索”的思想成为这些非国教学院根深蒂固的座右铭。

1758年，25岁的普里斯特利在英国柴郡的南特维奇担任牧师，并在此成立了一所学校。该学校有30个男生和6个女生，其中6个女生独立开班。他在这所学校任教三年，每周上课六天，从早上七点到下午四点，讲授拉丁语、希腊语、英语语法和地理。另外，他还讲授自然哲学，并购买了空气泵、发电机等指导学生使用。因此，可以说普里斯特利是在学校开设实验科学的第一人。

在普里斯特利长达30年的一线教学活动中，他撰写了一系列具有深远影响的教育理论和实践书籍。他最有名的著作《论面向公民生活的通识教育》（Priestley 1765/1965）就是他在沃灵顿学院任教期间撰写并发表的。该书最初是以小册子的形式发行，后来扩展为长达25页的序言，发表在他的著作《历史与政策讲演》（Priestley 1788）中。此后共计再版16次，并被译成荷兰语（1793）和法语（1798）译本。1803年该书在美国出版时，普里斯特利在文章前加入这样的批注：

“自该文发表以来已经过去了近四十年，很少有人能如我这般将教育作为一项事业来做，我所规划的理论现已由我和他人付诸实践，我相信这就是普世之道。”

(Passmore 1965, p. 289)

理论联系实践的原则一直贯穿于普里斯特利的全部工作中，包括他对拉瓦锡 (Lavoisier) 新氧气理论的反对。虽然他既不是马克思主义者也不是早期实证论者，但是普里斯特利经常对先于实践发展出来的理论、或是脱离了物质实际的理论抱有怀疑态度。他的观点，套用一個后来的说法就是“理论必须在实践中加以证明”。

与当代HPS&ST相似的是，普里斯特利主张融合性的课程，他说：“当相互关联的学科被用于阐释同一个规则系统时，那么每篇文章都会受到其相关学科的启迪”（出处同上 p. 293），对于一个有序引导的课程也是如此。他提到：

“应该率先讨论最简单的事情，并将其作为公理以及处理后续事情的基础。如果不遵循这些科学研究的基本方法，想要获得全面和清晰的观点几乎是不可能的。”

(出处同上 p. 293)

在学生的学习与能力方面，普里斯特利将一位在上述方法指导下的学生和下面这位学生进行了对比：

“只是随便考虑一些主题，读一些可能恰巧与他的研究相关的文章，将一些偶然记住的内容纳入自己的准则。”

(出处同上 p. 293)

他认为，无组织学习的危害在于：

“在这种学习中，一些涉及利益的、经常被讨论和书写的观点会被强加在学习者身上。几乎各个学科的作者与演说家都无法避免；很多内容甚至会牵涉到派系和利益。”

(出处同上 p. 293)

他主张讨论应当作为学生学习过程的一部分：

“难怪现在很多年轻人对自己目前的研究领域关注甚少，因为他们会发现自己关心的学科在前沿话题圈中很少被提及和讨论。”

(出处同上 p. 294)

重新联系目前的HPS&ST主题，普里斯特利进一步强化了他的观点，即面向公民和生活的通识教育需要提高对学科知识原理的理解：

“一个人只是习惯了按照惯例做事，对其他事没有想法，当他遇到不能用习惯方法解决的问题时就会完全失败；而当一个人对全局具有通识认知，他将可以寻找到比前者更好的方法来解决问题。”

(出处同上 p. 295)

在沃灵顿学院任教期间，普里斯特利一直坚持采用学生问答的方式教学；他提倡学生自由选修所有科目，包括神学；他确保对待有争议的问题，双方的论点都是可以引证的。沃灵顿的一位学生回忆：

“在每堂课的最后，他都鼓励学生表达自己对课程主题的想法，并鼓励学生毫无保留地提出任何与他相反的观点。每当有人提出这类话题的时候他都非常开心……他这么做的目的……是希望学生不受任何人情绪的影响，鼓励学生自己对事物做出判断与决策。”

(Rutt 1831—1832, Vol.1, p. 50. In Lindsay 1970, p. 15)

普里斯特利相信，他所倡导并实施的一系列教育管理制度最终会让社会越变越好。他说：

“我不得不自以为是地说：我所研究的关于通识教育的问题，很有可能在国家未来的某个时期结出丰硕的果实。”

(Passmore 1965, p. 301)

这就是改革者普里斯特利，但在某种意义上，他又被认为是革命家。凭借对科学探究及相关精神的理解，他开始在伯明翰讲坛进行演讲，题目是关于“自由探究的重要性及其延伸”：

“这就好比我们在一座由谬误和迷信构成的古老大厦下埋藏了一颗颗炸弹，星星之火可能变成熊熊烈焰，最终引发巨大的爆炸；长

年累月建造的建筑可能在一瞬间灰飞烟灭，且永远无法再次重建相同的根基。”

(Priestley 1785)

随着英国在美国独立战争（1775—1783）中被击败，以及法国大革命（1787—1789）的萌芽影响到欧洲所有国家和王国，上述这番话并非智者之言；普里斯特利因此被赋予“火药乔”的绰号。1791年，盛怒的“国王和教会”的暴徒洗劫了他的家、图书馆和实验室，迫使他从约克郡逃往美国。

由于他与本杰明·富兰克林、乔治·华盛顿（George Washington）、约翰·亚当斯（John Adams）以及托马斯·杰斐逊（Thomas Jefferson）的个人交情以及这些人对普里斯特利的崇拜，启蒙运动的思想对后殖民地和刚刚独立的美国的公共生活和教育产生了直接影响。丹尼尔·布尔斯特廷（Daniel Boorstin）写道：“继佩恩（Paine）之后，普里斯特利成为世界共和精神最鲜明的象征；当他远在海外时，就已经成为杰斐逊的密切合作者（Boorstin 1948, p. 17）。”

18、19世纪启蒙思想和教育实践的历史是复杂的，在此不再赘述。值得一提的是，启蒙运动的教育创始者，包括恩斯特·马赫（Ernst Mach）、维也纳学派的实证主义者以及约翰·杜威（John Dewey），在教育主线上始终与当今的HPS&ST一脉相承¹⁴。

恩斯特·马赫：哲学家、科学家与教育家

恩斯特·马赫（1838—1916）是19世纪中期传统启蒙运动的主要贡献者之一，也是第一个系统地将HPS运用到科学教育中的人。不幸的是，他对科学教育的贡献在以英语为母语的国家中几乎被完全忽视了¹⁵，这一点着实令人惋惜，因为当前科学教育中理论与实践的发展趋势在很多方面都与马赫当年的观点不谋而合。他关注科学教学的目标、理解的本质以及促进学习的最好途径。希望这部分内容在一定程度上能重现一百多年前在他的讣告中就已经完成的工作：

“马赫是一位值得读者，特别是青年关注的教育学家。他不应像普通人那样被逐渐遗忘，而应如同一粒种子，一旦被播种，就永远扎

根于物理教学的沃土中，并最终在现实的教学结出精神的硕果。”

(Höfler 1916; trans. W.A. Suchting)

马赫是19世纪末20世纪初最著名的哲学家和科学家之一。他熟练掌握欧洲多国语言，热爱希腊语和经典拉丁语，他也是著名的物理学家，在电学、气体动力学、热力学、光学、能量原理和机械力学等多个领域都有建树，同时他也是科学史学家、科学哲学家、心理学家、布拉格德国大学校长、奥地利国会议员和散文家。他具有坚强的性格和坚定的信念，是一位社会主义者、保守派中率真的自由人文主义者、奥匈帝国天主教徒。爱因斯坦(Einstein)这样评价马赫：“他用孩童般无忧无虑的眼睛好奇地观察这个世界以及其中蕴含的关系。”(Hiebert 1976, p. xxi)。马赫对科学和哲学的贡献时间经历了从达尔文(Darwin)到爱因斯坦整个时代。马赫的著作多达500部，第一部出版于1859年，正是达尔文发表《物种起源》的年代；最后一部著作出版于马赫去世五年后的1921年，也正是这一年，爱因斯坦发表了《相对论：狭义相对论和广义相对论》¹⁶。

马赫对教育的贡献

马赫对科学和哲学的理解都源于他的教育理念。马赫受到德国哲学家、心理学家、教育家约翰·弗里德里希·赫尔巴特(Johann Friedrich Herbart)观点的影响。他将赫尔巴特的理念应用于他的第一个教学任务“面向医学生的物理学”中，在此课程后，他撰写了《面向医学生的物理学纲要》(1863)。马赫的关注点放在利用“思维活动原则”理解整个物理学的概念模型架构，以对抗物理学的解构主义。

马赫长期关注心理学领域。他在15岁时就通读了康德的《导言》，从那时起就预兆了他后来对实证主义的信仰——“对不可捉摸的‘自在之物’突然有了顿悟”(Blackmore 1972, p. 11)。他的教学将教育、心理和科学内容结合在一起。他为在校学生编写了很多科学教材，第一本出版于1886年，并被广泛应用且连续再版。事实上，这个世纪初期欧洲物理学界的很多重要人物都是从马赫的教材中学习科学的。这些教材为科学提供了具有逻辑性和历史性的介绍；他们试图以一种“最质朴、最简单和最经典”的方法，将伟大科学家用于物理学的观察和思考方式呈

献给学生 (Pyenson 1993, p. 34)。在布拉格德国大学任教期间,他开设了“物理教学法”课程。1887年,马赫创刊并与他人合编了世界上第二本公开出版的科学教育杂志《物理与化学教学》¹⁷。他对该杂志的贡献一直持续到1898年他因中风不得不退休。

马赫不曾系统性地撰写过任何有关教育理论或实践内容的著作,他的思想在他编写的教材和发表的文章中可见一斑。但是,他有三次演讲涉及教学法主题。其中最系统地提到对待教育与科学教育的一次演讲应当是《经典科学与数理科学的教学》(Mach 1886/1986),该演讲后来被翻译编入他的《通俗科学讲演》中。他撰写的另外两篇教学法文章《热理论教学》(1887)和《科学教育中心理学和逻辑学的契机》(1890)分别发表在《物理与化学教学》杂志的第1卷和第4卷。

马赫不仅对教育知识和实践感兴趣,他在教育改革中也受启蒙运动思想的启发。最优秀的启蒙运动思想家能够将理论和实践紧密结合。正如马克思所说,哲学推理的要点并不仅仅是思考世界,最终是要改变世界。马赫代表教师组织在奥地利议会要求学校课程改革,并致力于转变德国中学存在的“将语言与文学专业从科学与数学学院中分离出来”的机制。马赫支持建立新型的、融合教育的、文理兼顾的学校。几乎没有科学家对正式教育(学校)和非正式教育(社会公众)表现出如此浓厚的兴趣。很遗憾,马赫的理论被以英语为母语的国家的科学教育者所忽视。

对于学校科学教育而言,良好的科学课程与教学要基于以下两大基础:对科学本质和范围的认识以及对教育本质和教育实践的看法。当然,更确切地说还有一些需要考虑的其他因素——如政治、社会 and 心理学因素等,此处我们只讨论最显著的因素。人们对科学哲学和教育哲学那些外显或是内隐的思考,都将在很大程度上促进科学课程开设模式的进步。马赫关于科学教育体系建设上的建议,一定程度上来源于他的科学理论和赫尔巴特教育理论。马赫的科学哲学理论(即他对科学本质的观点)主要如下:

- 科学理论是思维活动的知识架构,因而与经验相连。
- 科学并不可靠,科学不提供绝对真理。
- 科学是在一定历史条件下的智力活动。
- 想要理解科学理论,就必须先了解其历史发展。

马赫的教育理念相当简单且毫无争议；HPS&ST 很容易采纳上述理念：

- 用具体的材料开始教学，使学生完全熟悉讨论的现象。
- 目标指向对具体主题的认识与理解。
- 注重教学质量而非数量。
- 遵循主题的历史发展顺序。
- 依据学生的知识水平和能力调整教学。
- 考虑科学中蕴含的以及衍生出的科学哲学问题。
- 正如个体的观点可以被不断完善，科学概念也是如此，能够被持续不断地修改和完善。
- 与学习者的思想相契合。

虽然马赫是一位杰出的理论家并关注教育中的思维活动，但他坚信抽象概念不应该存在于科学课堂，这与黑格尔对哲学的评价是一样的：

“青年学生不应沉溺于不成熟的抽象概念，在他们开始着手实践工作前，不能只怀揣单纯的抽象推理的方法，而是应该从生活现象中了解事实。”

(Mach 1886/1986, p. 4)

通常从缺口去观察细节，正如阿诺德·阿伦斯 (Arnold Arons) 曾惋惜地提到：

“当前物理学教学存在着严重的不平衡，教学中存在着过多地使用公式处理程序化问题，却十分缺乏对现象的思考和推理。”

(Arons 1988, p. 18)

马赫的另一个观点认为教学课程的设置趋向于过度饱和。于他而言，教育的基本目的是培养理解力、加强推理能力和提高想象力。而庞大的课程体系阻碍了这些目标的实现：

“我认为没有什么比那些学了太多知识的人更可怜的了。他们学到的东西如蜘蛛网一般脆弱不堪，但却复杂得足够制造混乱。”

(Mach 1886/1986, p. 367)

100年后，这首挽歌仍然在为美国“只有广度，没有深度”的课程设置呐喊。

马赫认为呈现科学需要融入历史的观点，正如他所说的那样，教学应当遵循发生教学法：

“年轻学生通常会从少数数学或科学发现入手，建立自己最终的逻辑推论。而这种选择应当与伟大的科学经典相结合。由此，一些重要的、清晰的观点才可能在思维中扎根并深入强化。”

(Mach 1886/1986, p. 368)

马赫的主要教材中关于力学(1883/1960)、热学(1869)和光学(1922)的部分都是遵循发生教学法来呈现的。马赫意识到学科主题的逻辑性不一定符合呈现方式的逻辑性——这一点为大多数教师而非管理人员所熟知。学科的逻辑性和教学法的逻辑性并不完全相同，正如马赫同时代的伙伴实证论者皮埃尔·迪昂(Pierre Duhem)所述：

“帮助学生接受物理学假说最合理有效的方法是历史性方法……对于如此复杂而又组织灵活的一门学科来说，为了给那些学习物理的人一个正确且清晰的观点，这是最好的甚至也是唯一的方法。”

(Duhem 1906/1954, p. 268)

HPS&ST并非必须遵循历史结构教学法，然而这是它的首选：追寻前人脚步，感念前人成就。该专题将在第四章(课程历史)、第六章(单摆)和第七章(光合作用)详细展开论述。

实证主义传统

实证主义维也纳学派最开始被称为恩斯特·马赫学派。维也纳学派认为他们通过使用科学知识和科学思维促进社会与文化的发展，是启蒙运动的阐释者与先驱。这是兴起于19世纪中后叶欧洲的一场社会、文化与哲学运动，最初起源于孔特(Comte)、斯宾塞(Spencer)和马赫。正如一位评论员所说：“逻辑经验主义介入了启蒙思想传统并致力于其发展，尤其是致力于其复兴”(Uebel 1998, p. 418)¹⁸。它以一种看似略有不同的方式(逻辑实证主义和逻辑经验主义)，在整个20世纪中叶持续

主导着西方哲学界。

过去的50年间，对实证主义的批判从四面八方纷至沓来，尤其在教育领域被批判和刻意回避。在教育中被贴上“实证主义”的标签，就仿佛在其他地方被贴上了“恐怖主义”的标签。一位杰出的科学教育家写道：“意识形态(实证主义)导致了对阶层、种族、性别和本性的支配。”(Tobin 1998, p. 196)。进一步说，这些致命的影响已经风行了很长一段时间：“实证主义已经扎根于科学和科学教育领域，从近代科学诞生和达·芬奇时代起就已经如此。”(Tobin 1998, p. 209)。其他教育者已经很少提及实证主义。

然而，这些评论是毫无根据的。下面将会进行论述，他们利用并设计了“乡下实证主义”(village positivism)的画面，迈克尔·弗里德曼(Michael Friedman)的观点充分表明：

“过去15或20年间，对逻辑实证主义起源的学术调查逐渐揭示，这样一幅质朴的实证主义运动画面遭到了严重的曲解。将实证主义者放到当时的知识背景下来看，我们对逻辑实证主义和知识意义的理解必须从根本上改变——它是那个时代的一场科学发展革命，同样也是一场哲学发展革命。因此，在我们所处的这个时代，对逻辑实证主义兴衰的研究需要从根本上改进。”

(Friedman 1999, p. xv)

我们有必要重温教育的目的，然而，教育工作者常常忙于其他工作，以至于无暇顾及哲学。这是本书将会不断提到的内容，如果他们能够在哲学上花费更多的心思，那么每一堂课就能够在哲学(或者历史、心理、社会、政治)范畴内设计得更加严谨合理。

实证主义者和早期逻辑经验主义者都参与了传统启蒙运动。他们相信人类生活、医药、社会制度和文化组成，如艺术、音乐和文学等方面面都存在着进步的可能性¹⁹。他们对19世纪20年代维也纳短暂的社会主义春天做出了贡献。他们意识到这些进步完全依赖于教育，包括正式教育(中小学、大学、研究所)和非正式教育(著作、报纸、期刊、广播和公园街角的临时演说)。随后他们遭到了兴起的纳粹主义的迫害，全部逃离或移民到了土耳其、英国、美国和其他一些地方。

20世纪20年代，受马赫影响的维也纳学派的莫里茨·施利克（Moritz Schlick）（1882—1936）、鲁道夫·卡纳普（Rudolf Carnap）（1891—1970）、奥图·纽拉斯（Otto Neurath）（1882—1945）、菲利普·弗兰克（Philipp Frank）（1884—1966）和原英国科普作家阿尔弗雷德·艾耶尔（Alfred J. Ayer）（1910—1989）的工作形成了一定的实证主义哲学范式，被称为“逻辑实证主义”。两位实证主义奠基人——菲利普·弗兰克和赫伯特·费格尔（Herbert Feigl）在教育著作中称，平民主义者和教育家对实证主义的解释与现实是完全不同的。这就提出了一个问题：为何会出现如此巨大的差异？

菲利普·弗兰克

菲利普·弗兰克于1884年出生于维也纳，1966年卒于马萨诸塞州的剑桥。1907年，他在维也纳大学师从路德维希·玻尔兹曼（Ludwig Boltzmann），获得了理论物理博士学位。1907年，23岁的弗兰克在《经验和因果律》（Frank 1907/1949）上发表了第一篇论文，描述了他后来的哲学关注点——结构学、方法论和科学史的延伸和哲学反思。在维也纳学派的会议中，他形成了自己后期学术生涯的风格——对目标的严谨性以及针对不同观点和传统思想的开放性：

“虽然表面上看似内部矛盾，但其实通过一些广泛的方法，我们能够与持有不同哲学观点的人进行有意义的讨论。例如，在我们讨论的参与者中，有人倡导天主教哲学。他们中的一些人是托马斯主义者，一些甚至是空想神秘主义者。当他们讨论《旧约全书》、《新约全书》、《犹太法典》、《圣奥古斯丁》时，中世纪经院学者也经常参与其中。奥图·纽拉斯甚至还在神学院就读过一年……并获得了伦理神学最佳论文奖。这表明我们在哲学理论文化背景上的兴趣具有高度一致性。我们相信，开放的思想是必要的，它让我们可以和持有不同观点的人坐在一起讨论问题。”

（Frank 1949, p. 1-2）

对于所有参与启蒙运动的人而言，教育是社会改革的关键。1933年，物理学家彼得·伯格曼（Peter Bergmann）还是一个来自柏林纳粹难民营18岁的青年，他回忆：

“在当时紧张和狂热的氛围中，如同慈父般的菲利普·弗兰克代表了整个（布拉格）大学的一切美好……他鼓励我们所有学生，为我们打开了广阔的知识之窗，鼓励我们用开放的视野看待物理学及国内外发生的事情。菲利普·弗兰克致力于在科学哲学与实验物理及纯数学之间建立密切联系。”

(Blackmore *et al.* 2001, p. 69)

哈佛大学的物理学家肯布尔（E.C. Kemble）这样描述他的同事：

“他性格温和、谦逊，具有闪光的思想、质朴的天赋以及幽默感。他了解真理的本质以及区分真理与假象的标准。他是人文主义者，也是科学家和哲学家……他拥有让公众理解深奥真理的耐心、洞察力和才智。”

(Frank 1931/1998, p. x)

无需多言，弗兰克的教学观点与实证主义者教条、专断、忽视学生的教育理念不同。以上这些完全错误的主张为本书的论点提供了证据。换句话说，HPS知识至少能够减少科学教育的争议，改善科学教育研究。

弗兰克发表了两篇教育学文章：《科学教学与人文学科》（Frank 1946/1949）和《科学哲学在物理专业学生课程设置中的地位》（Frank 1947/1949）。令他遗憾的是：“传统科学教育没有培养出具有批判性思维的科学家，却培养出了完全相反的类型”（Frank 1947/1949, p. 230）。某种程度而言，这种遗憾是由于：

“对于完全接受传统科学教育的学生而言，他们的科学课程是存在漏洞的。伪哲学和伪宗教解释恰好利用了这些漏洞，学生在该领域接受的技术性科学教育非常容易受到蛊惑与欺骗。”

(Frank 1947/1949, p. 230)

因此：

“随着技术的逐渐发展，科学对人类社会的重要性与日俱增。文化与公众生活中最重要的部分本应由科学毕业生承担，然而现在却因为这些失败的教育遭到了阻碍。”

(Frank 1947/1949, p. 231)

当然，HPS（对弗兰克而言只是科学哲学这部分）弥补了这些缺憾，因为这里包括了两个不可分割的部分，“逻辑实证分析”和“社会心理学分析”（Frank 1947/1949, p. 248）。前者是概念上或语义上的分析，后者是谨慎的历史分析。弗兰克认为：“为了填补传统科学教学中存在的漏洞，这种分析应当是科学教学中最重要的主题。”（Frank 1947/1949, p. 245）。

科学理论的逻辑实证分析主要由以下三部分构成：第一，识别纯粹的逻辑陈述；第二，识别观察陈述；第三，能够通过与观察相联系的原理具体说明实用性定义（Frank 1947/1949, p. 243）。弗兰克在文章中就此类分析给出了以下例证：哥白尼学说争议、欧几里得与非欧几里得几何系统、牛顿定律、相对论与量子理论分析等。弗兰克希望学生能够通过独立观察推导出：“在所有这些领域当中，核心问题是感觉经验（又称为事实发现）与从中提炼出的逻辑结论之间的相互关系”（Frank 1947/1949, p. 234）。他用哥白尼学说争议作为例证阐述了该论点：

“比如，当我们查看一般科学教科书处理哥白尼学说的争议时，我们会发现其陈述不尽如人意。在几乎所有版本的教材中，我们都被告知‘依据我们的感官判断，太阳看起来是围绕地球旋转的’。然后我们‘被’告知‘哥白尼告诉我们这种依据是不可靠的，我们应该通过推理寻求证据，而不是靠我们的第一直觉’。”

（Frank 1947/1949, p. 231）

弗兰克认为这种解释的方式是错误的，应该通过逻辑实证分析来呈现：

“事实上，我们的感官观察仅仅显示上午地平线和太阳间的距离在逐渐增大，但是感官并没有告诉我们，这个距离的增大究竟是因为太阳的上升还是地平线的下降。”

（出处同上）

“太阳在运动”并非感官证据，而只是感官证据的一个阐述；这正是随后保罗·费耶阿本德（Paul Feyerabend）提出的感官经验的“自然解释”（Feyerabend 1975, Chapters 6-7）。弗兰克清晰地指出理论会影响观察，哲学工作和经验论者致力于探寻是否存在某一水平的观察不受理论影响。

弗兰克从哥白尼学说的案例中提炼出的结论和他从大多数其他案例中提炼出的结论一样，即：

“传统的物理学教学无法就历史上的争议给出充分的表述，从而错失了让学生理解科学、宗教、政府之间相互关系的机会，而这些相互关系本应在帮助学生适应现代社会生活中起到重要作用。理解哥白尼学说以及其他类似的争论，可以帮助科学专业的学生对社会和政治问题有更深入的认识，至少能够达到同人文科学学生一样的水平。”

(Frank 1947/1949, p. 234)

弗兰克是通识教育的倡导者，肯定了人们需要掌握多学科知识，且越多越好，并且认为人们需要能够表述出这些不同学科之间的关系。他认为人文学科可以与科学学科一同开设，他说：

“科学学生应该着眼于自己领域内的社会和宗教问题，通过这扇敞开的大门步入人文学科领域……想要理解政治与宗教理念的哲学基础，最好的方式就是理解它们与科学之间的联系。”

(Frank 1946/1949, p. 281)

关于上文弗兰克的最后一个主张，我将在第十章进一步阐述。

赫伯特·费格尔

赫伯特·费格尔是第二个我们要提到的经典实证主义者，他的教育理论和实践与教育著作中流行的实证主义并不一致。费格尔于1902年出生在赖兴贝格，当时该地区属于奥匈帝国苏台德区的一部分，后来被并入捷克斯洛伐克，他于1988年卒于美国明尼阿波利斯市²⁰。16岁时，他读到一篇关于狭义相对论的文章并尝试反驳它，但是没有成功。他说这种尝试让他学习了大量的数学和物理知识。20岁时，他在维也纳大学师从莫里茨·施利克研究哲学（同时，也研究了数学、物理和心理学）。他是维也纳学派的创始成员，该学派于1924年由施利克等人创立，成立初期每周会有一个晚上以讨论组的形式进行活动，费格尔直到1930年移民美国之前一直都是该学派的成员。1927年，费格尔发表了博士论文《机会与法则：论自然科学中的归纳与概率》。在美国的哈佛大学，他与珀西·布里奇曼（Percy Bridgman）一同致力于基础物理学的研究，其中包

括了理论术语可操作性定义的理论研究。1940年，他被聘为美国明尼苏达大学教授；1953年，他创立了明尼苏达科学哲学研究中心，该中心对逻辑实证主义哲学在美国及全球的传播做出了重要贡献——特别是该中心创办的多卷杂志《明尼苏达对科学哲学的研究》。

费格尔发表了著名的教育论文《科学时代的教育目标：逻辑经验主义者的思考》(Feigl 1955)。该文章发表在《第54届国家社会教育研究年鉴》上。该年鉴主题为“现代哲学与教育”，收录了来自托马斯学派雅克·马里坦(Jacques Maritain)、自由派基督徒西奥多·格林(Theodore Greene)、马克思主义者罗伯特·科恩(Robert Cohen)以及其他人的著作。为了对抗关于人类自由的宿命论或称为机械决定论的观点，费格尔认为提高个人主观能动性是首要的教育目标²¹。

“如果教育允许以自由学习、理性选择以及批判反思的方式来促进学生知识与品格的形成，那么接受这种教育的人就有更好的机会掌控自己的活动与成就。”

(Feigl 1955, p. 322)

这并非巧合，它几乎是1784年康德《什么是启蒙运动?》一书卷首语的完全再现：

“启蒙运动是人类从‘自我束缚’中解脱的过程。‘束缚’指的是一个人不依靠他人指导就没有理解阐述的能力。而‘自我’则是指这种‘束缚’的产生不是由于缺乏推理导致，而是因为缺乏他人的指点就缺乏分辨力与勇气。‘有勇气自己进行推理’——这是启蒙运动的口号。”

(Kant 1784/2003, p. 54)

毫无悬念，费格尔也提倡在科学教学中融入历史与哲学。他提到：

“在我的脑海里，如果科学教学能够融入更多的艺术与人文科学，那么科学教学将变得更具吸引力、更有乐趣且更有益处。如果我们能允许学生在更广阔的视野下参观科研单位，那么索然无味的科学课程就可以变成一场兴奋的智慧冒险。如果我们只是单纯地关注科学的实用价值，那么本来知识探索所具备的智慧与文化价值将黯然失色。”

(Feigl 1955, p. 337)

更进一步说，他认为正统通识教育的定位应当是这样的：“科学与科学态度的培养当然应该与历史、文学和艺术的学习相关联”（Feigl 1955, p. 338）。当然，科学不是费格尔唯一关注的事情，还有与科学同样重要的事情：

“我认为真正伟大的音乐作品是人类精神至高无上的成就……我认为，音乐（甚至高于诗歌）表达了一些通过认知，特别是通过科学语言难以表达的东西。”

（Cohen 1981, p. 5）

费格尔具有很强的价值观和辨识力，而这些也是教育的固有部分；他构建并直接参与到教育过程中，对设立教学目标起到了至关重要的作用。同时，费格尔具有很强的理性，并能够将这种理性应用于教育中。他认为经典的亚里士多德理论将“人”定义为一种理性的动物“是一个良好的开端”（Feigl 1955, p. 335），随后他对教育理念进行了说明，强调理性至少涵盖以下六项思想行为：

- 清晰的思路（有效地使用语言和避免不必要的困惑）；
- 一致的推理（与正式逻辑原理一致的原则）；
- 可靠的知识主张（无论在什么情况下，证据太过薄弱都会使信仰大打折扣）；
- 客观的知识主张（知识主张应该经得起任何具备充足智慧和能力的人的检验）；
- 合理的目的行为（以最小的消极结果获得最大的积极效果）；
- 道德理性（遵循公平公正的原则，避免使用强迫及暴力手段解决利益冲突）（Feigl 1955, pp. 335-336ff）。理性并非仅仅是一种知识品格，而是与行为紧密相连——至少与合理行为的倾向性紧密相连²²。

实证主义的谬见与现实

一般科学教育者所认可的实证主义缺点与菲利普·弗兰克和赫伯特·费格尔至少两位实证主义创始人支持的科学教育原理与实践之间存在着很大的分歧。教育学著作中存在关于实证主义的混淆，主要是因为教育学家中，实证主义会被例行公事地套上唯物主义或现实主义的帽子。实证主义者明确反对形而上学，这种反对界定了马赫实证主义与后

来的逻辑实证主义哲学。最终，有足够充分的理由，实证主义中非凡的形而上学被抛弃，正如卡尔·波普尔（1902—1994）所说，那是因为它与科学的追求不一致。然而，弗兰克与费格爾的教育理论却在形而上学的终结中幸存下来。

下表总结了这种分歧：

实证主义中存在的教育谬见	弗兰克和费格爾的定位
实证主义认为科学知识一定是正确的	他们认为科学是不可靠的。除了方法论和既定知识外，科学同其他任何事物（启示、形而上学、直觉）一样
实证主义没有认识到观察的理论依赖性	他们认识到观察的理论依赖性，并试图将这种依赖性识别并分离出来
实证主义认为科学知识是一种感官材料	他们认为未经归纳的少量感官材料是无法被看做科学知识的
实证主义提倡对教科书的学习应当是不加质疑的	他们反对不加质疑和不加反思的教学
实证主义被束缚在行为主义心理学层面	他们反对行为主义者的思想行为，也反对将精神作为理论的“虚构”。他们支持通过科学方法研究精神，反对二元论观点
实证主义认为知识是一种商品	他们认为这种想法是不可取的
实证主义认为科学知识可以轻易传播	他们持完全相反的观点
关于“文化对科学知识产生的作用”，实证主义的认识是盲目的	他们明确表示人们应当考虑文化的影响，但认为这种认识无法构成科学主张的真实性
实证主义认为科学知识是脱离历史、远离社会的	他们一生致力于与之相反的观点
实证主义忽视了科学的价值维度	他们明确详细地阐述了科学的价值维度
实证主义脱离或漠视推动社会和文化发展的行为	他们支持先进的、左派的社会公正事业，这与恩斯特·马赫和大多数维也纳学派成员一样
实证主义是西方社会的主流意识形态	他们希望科学能够成为理解自然和社会的主导意识形态
实证主义完全依附于启蒙运动传统	他们仅仅是认可启蒙运动传统

总之，弗兰克、费格爾（以及规范实证主义者）的教育观点与HPS&ST、英美通识教育以及欧洲传统教育的观点是一致的。上述提到

的在谬见与现实之间存在明显的分歧，这在一定程度上解释了实证主义与相对成熟的逻辑经验主义。乔治·赖施（George Reisch）写道：

“最初逻辑实证主义不仅致力于科学，同时自发地致力于社会与文化发展（20世纪20年代的欧洲以及20世纪30年代和40年代的北美）。然而，跨越了大约十年，粗略估计从1949到1959年，它逐渐转变成致力于应用逻辑学与语义学的严谨的非政治性项目。今天大部分哲学家将它们称为‘逻辑经验主义’或‘逻辑实证主义’。”

（Reisch 2005, p. xi）

毋庸置疑，实证主义的成熟衍生派坚持现象认识论，拒绝形而上学。他们通过各种努力寻求潜在的、不可见的现象机制，引发并支持心理学行为主义以及该意识形态在教育领域的拓展。而这一切是心理学家、社会科学家和教育家对不健全的科学哲学不加批判狂热追求的另一个例子²³。

约翰·杜威

普里斯特利之后的两个世纪，约翰·杜威（1859—1952）再一次强调了启蒙运动教育传统的核心地位。他在1910年写道：

“科学方法并不仅仅是一种寻求利益最大化的手段，也不仅仅是关于纯技术理性的深奥学科。它代表了思考的唯一方法，并且在任何学科中都被证实有效。”

（Dewey 1910, p. 127）

1916年，他在著名的《民主与教育》中详细阐述了如下观点：

“我们偏好过早地接受和断言，我们厌恶无法做出判断，这一切标志着我们自然倾向于缩短检验的过程。我们满足当下这些肤浅和缺乏远见的应用……而科学则是与这些自然趋势对抗，阻挡其中存在的‘恶魔’的‘守护者’……这一切是人为的（后天获得的），而非自发无意识的，是后天习得的而非天生的。以上这些事实也证明了科学教育在教育中独一无二的重要地位。”

（Dewey 1916/1966, p. 189）

杜威在1938年《国际统一科学百科全书》中进一步阐述道：

“简言之，我们这里提到的科学态度是在生活方方面面彰显的高尚品质。那么什么是科学态度呢？通过负面词汇来说，它是自由对常规、偏见、教条、未核实传统、完全利己主义的掌控的脱离。通过正面词汇来说，它是关于探究、检验、鉴别、通过努力收集全部可用证据、并通过基础证据得出结论的意愿。它是臻于信仰的意图，是对已知事物的检验手段，基于观察的事实，认识到如果没有概念，事实也是毫无意义的。”

(Dewey 1938, p. 31)

作为一名应用与实践的哲学家，杜威对“常规教授科学精神”(Dewey 1938, p. 36)感到遗憾，并且对“科学课程在很大程度上是在传递大量的事实性学科知识，而不是在教授一种普适的手段和方法”(出处同上)感到失望²⁴。考虑到科学在教育和文化上的分离，他提醒到，“一些特殊的利益团体试图将科学从所有事件中孤立出来，这样民众才能避免不受任何影响”(Dewey 1938, p. 37)。后者随后在所有的独裁主义政权体制中占据了一席之地。

在本书中，我们将重现杜威提出的一些主张：

- 科学会涉及少量复杂的实验，不仅仅是“看一看”，科学是实验科学；
- 科学思维与科学进程不是自发的，它们不是作为一个成熟的过程自发展现出来的：科学需要讲解；
- 科学思维，又称“思维习惯”或“科学素养”，需要能够应用到实验室之外，它不仅是分析解决社会文化问题的方式，同样也适用于自然环境问题。

接下来我们将会看到，针对上述每一个主张都存在着论辩。很多教育工作者会拒绝上述部分甚至全部观点。

科学教育和启蒙思想的传播

从18世纪开始，现代科学由西欧传播开来，从那时之后的两个世纪逐渐演变成今天所说的正统、通用科学²⁵。成千上万的人，不分性别、民族、信仰、种族阶层都对科学做出了巨大贡献，数百万计的学生在该领

域进行学习与研究。

科学的早期传播与世界航海之旅以及欧洲列强的帝国主义扩张密切相关。这使伽利略、惠更斯、牛顿、莱布尼斯和其他科学家的科学成果传播到了世界各地²⁶。欧洲商人、殖民者和传教士在全世界范围内活动。伴随着在世界范围内传播的现代科学，启蒙运动思想在传播程度上却表现出不均衡。随着与欧洲列强的不断接触，人们开始渴求科学与技术的力量，然而启蒙运动的价值通常是不受欢迎的。启蒙运动中关于言论自由与结社自由、法制、公开质疑权威和权力世袭的合法性、政教分离、异端信仰和不道德行为的非刑事化、教育的普及以及人权等等并未在欧洲受到欢迎，尽管启蒙运动和自由主义得到了公众的拥护，然而在欧洲的殖民地当中，其受欢迎程度甚至还不如在欧洲。

在欧洲，人们对“启蒙教育”的争论持续了两个世纪。这些争论主要存在于教堂（罗马天主教和新教）与启蒙运动倡导者之间。这些启蒙运动倡导者希望争取一个更加自由、非宗教、民主和有教养的社会。19世纪中叶，罗伯特·欧文（Robert Owen）在他的“新拉纳克”社会主义工业社区中建立了一所非宗教学校，而这个仅有的尝试遭到了政府和教堂的反对。1833年，英国政府首次下拨20,000英镑对教育进行资助，然而这些钱都流入了教会学校。在西班牙、葡萄牙、意大利、波兰以及其他一些地方，欧洲天主教直接控制教育，直到20世纪末，欧洲大部分国家才摆脱了这种控制。1864年，教皇庇护九世（Pope Pius IX）在反现代主义的《谬说要录》中对这些言论进行了谴责：

“公民社会最好的理论要求公共学校面向每个阶层的儿童开放，所有的公立学校都应当教授书写以及科学哲学，接受教育的年轻人应当从教会的权威、控制和干涉中解放出来，在一定的规范下服从公民与政治权利，并遵守当前普遍认可的规范准则。”

启蒙运动的核心信仰位于“现代主义”80条谬说中的第47条²⁷。在欧洲、拉丁美洲和欧洲的殖民地，教堂对教育的影响（雇佣教师、设定课程、反对达尔文人类起源学说的应用、必修宗教课程等等）一直持续到20世纪末期。当然，在殖民地中，教会和传教士也是仅有的对教育感兴趣的团体。如果没有他们的贡献和努力，女孩将很少或不会接受教育，而几

乎所有亚非解放斗争的领袖都曾受益于教会学校的教育。

然而，现代科学和受启蒙运动影响的教育确实在欧洲得以传播。其中最值得关注的要数20世纪20年代由穆斯塔法·凯末尔（Mustafa Kemal）（即阿塔图尔克）发起的土耳其教育改革，鉴于其复杂性在此不再详细阐述。另外一个同样复杂、但可以通过简单描述进行说明的案例是1950年印度的潘迪特·贾瓦哈拉尔·尼赫鲁（Pandit Jawaharlal Nehru）发起的教育改革。鉴于这个案例可以敏锐地勾勒出本书的部分主题，我们在此稍作展开。

印度

印度教育改革是一个很鲜明的案例，印度引入了受启蒙运动影响的科学教育，随后的历史争论为哲学、政治和教育分析提供了素材。19世纪，在查尔斯·特里维廉（Charles Trevelyan）（1807—1886）的大力倡导下，英语教育，包括科学课程（以及板球运动）得以进入印度并提供给精英阶层，而这些课程的初衷和安排跟启蒙运动无关²⁸。一个世纪后，随着独立，印度发生了翻天覆地的变化，至少在意识形态上是这样。新的印度独立宪法引起了广泛的国际关注，而其中有一条非常独特。在印度宪法51款第一部分第八条提出了国家的一项基本职责：“要发展科学素养、人文主义以及探索和改革的精神。”本杰明·富兰克林、托马斯·杰斐逊、约瑟夫·普里斯特利、恩斯特·马赫、约翰·杜威、实用主义者、大多数国家的科学发展促进会以及国家科学教师协会都梦想着有朝一日能够将“科学观念”或“科学的思维习惯”或“科学情感”纳入到国家宪法中。这些条款是如何纳入宪法的？完成情况如何？它引发了哪些知识、教育以及政治上的争论呢？这些都是启发我们思考的问题。

“科学素养”这一术语和印度科学素养计划是由潘迪特·贾瓦哈拉尔·尼赫鲁（1889—1964）在1947年提出并付诸实践的。尼赫鲁是1947年印度独立后的第一位总统，他的信念在他《印度的发现》一书中有详细的介绍（Nehru 1946/1981）。这种信念的起源归结于尼赫鲁曾经在剑桥大学获得理科学位（1907—1910），而此时正是启蒙运动、自由主义和社会主义思潮在英国大学甚至社会中广泛流传的时期²⁹。尼赫鲁以赞赏的心态对启蒙运动进行了如下描述：

“科学的冒险精神和批判精神、对真理和新知识的渴求、否定任何没有经过检验和证实的事件、在新证据出现时修改先前结论、依据观察的事实而非先入为主的理论，以及保持严谨规范的思维。”

(Nehru 1946/1981, p. 36)

重要但经常被忽视的一点是，尼赫鲁的主张得到了比姆拉奥·拉姆吉·安贝德卡尔 (Bhimrao Ramji Ambedkar) (1891—1956) 的支持与强化。安贝德卡尔是尼赫鲁的政治盟友，是印度独立后的第一位法律部长、宪法的首席著作人，他是印度阶级制度和与之相关的印度教信念的坚决反对者³⁰。安贝德卡尔在哥伦比亚大学攻读硕士期间受到了杜威的极大影响，杜威的全部哲学和社会计划都与他自己的观点、经历产生了强烈共鸣 (Mukherjee 2009)。安贝德卡尔和尼赫鲁发现，印度社会和文化中根深蒂固的、恶劣的、落后的、不理性的和不公正的现象不可能仅仅通过立法的形式改变，人们还需要教育，尤其是科学教育来改变观念和价值取向。在1958年的科学政策决议中，国会政府重申了其致力于现代科学、技术和科学素养发展的承诺。

然而可以预见，这种改变并没有大规模发生。包括印度在内的许多新兴现代化社会，的确接受了技术和工业科学教育，并提出了很多科学政策——发展核能、建设水电站、进行绿色革命、发展农业经济和制造业、创设世界领先的技术学院和科学研究中心以及更多——然而农村、城镇、城市甚至是顶级大学的日常生活却并没有发生太大变化。1981年7月，尼赫鲁中心于德里市发布了另一份科学素养的声明。该声明由众多杰出的科学家和知识分子联名签署 (Haksar *et al.* 1981)，希望借此可以使科学素养在国家教育和文化上获得较高的优先权。这份声明很简单，它强调：

“科学素养……让人们意识到，事情的发生是自然和社会力量相互作用的结果，是可以被理解和描述的，无论多伟大的人类个体都不会影响它们。”

(in Nanda 2003, p. 210)

正如在第十章中我们将会提到，这项声明是兼具方法论和本体论的自然主义。

这份重申了启蒙运动思潮的声明一经颁布就被淹没在海啸般的后库恩主义、后殖民主义、后现代主义、多元文化主义和传统知识信仰者的批判中。科学素养的支持者正如预期那般被贴上了实证主义者的标签。科学素养宣言的批判者们要求刊发库恩、费耶阿本德、马库塞和拉托尔等人的当代科学研究成果。1981年，阿希斯·南迪（Ashis Nandy）出版了一部得到广泛评论的《人文主义素养的反驳声明》，他在书中谴责了“伤风败俗的、不道德的科学逻辑”，并向读者陈述：“科学受到文化与社会的影响，而不是任何个人努力的结果。”（Nandy 1981, in Nanda 2003, p. 212）。

上述所有内容在《亲密的敌人》一书中得以扩展，这本书借鉴了“历史、哲学以及科学社会学75年间的成果”（Nandy 1983）。南迪及其同行评论家希望“印度思想脱离殖民化的影响”。然而很多其他书籍、选集、文章和专题讨论会都积极拥护同样的反启蒙运动主题：西方科学假设的真理和普遍性是一种错误概念；科学方法和独特的前景是不存在的；正统科学只是对殖民地进行压迫的一种工具；本地吠陀科学和印度技术与现代科学同样具有理性和实用性；印度教文化比外来的压迫文化更有价值，等等。上述全部或部分观点，由一些资历较高的人在大量国际科学教育期刊上发表。

在印度，“科学战争”产生了真实严重的社会后果。更为悲惨的是，2013年8月，纳兰德拉·达博尔卡（Narendra Dabholkar）在街头遭到谋杀，只是因为他在马哈拉施特拉邦议会上帮助通过了反迷信行为的法案。印度人民党在德里第一次获得执政权时（1998年），占星术在许多大学中广受欢迎，并逐渐取代了天文学的地位（和经费）；类似的情况还发生在各类传统医疗实践当中。科学素养连同它提出的课程目标就这样消失在了众多学校课程之中³¹。

在尼赫鲁中心发表科学素养声明后，随之的争论也持续了30年，30年后，该主张于2011年在科学家和知识分子提出的《巴拉姆布尔宣言》中得以重生。该《宣言》重申了尼赫鲁最初的希望，重申了1981年该声明的核心论点并展开道：

“过去的30年间，宗教和宗教主义的公开活动明显增多，非理性邪教崛起、反启蒙主义实践得到赞颂、宗教信仰和宗教符号的运用显著增加。有时这种无理的、不科学的行为甚至成为公共和私人领

域的思想基础。基于阶级、性别和种族的歧视促使这些荒谬的信仰和迷信得以长久广泛地流行，最终成为我们社会中的污点。”

(多作者 2011, p. 2)

这表明，知识和信息是不同的。在印度存在着大量的信息，然而教育应当是追求知识的。

“现代教育是关于科学信息、知识和态度最重要的决定性因素。的确，多年以来，科学信息库在国内逐步扩增，但是如何将信息转化为知识，并因此带来态度上的改变，在这一点上我们做得还远远不够。不幸的是，我们的教育体系还不足以让科学素养在年轻人的思想中扎根。”

(多作者 2011, p. 5)

对印度这些科学家、政治家和教育家而言，在这个“先进”的世界中，如果他们读到一些知识分子提出的对普通科学教育的期望时，一定会感到十分惊恐。比方说他们提到，教育需要教会公民“把蛋奶酥放在烤箱的什么位置能够减少能源费用的支出”(Collins & Pinch 1992, p. 150)。如果能做到自然是好的，然而严格的文化和教育主题是教育是否应该承担更多责任，以及这种“传感效应”是否应当成为检验科学教育成果的标准？

结论

印度以及其他一些地方引起的争论清晰地表明，教育植根于哲学、政治、经济和宗教。科学教育中的启蒙传统认识到这一点，并主张历史与哲学知识融入科学教育，以便教师和行政管理者更好地理解他们自己的科学传统，并且更有效地结合广阔的社会、文化和历史传统。如果将HPS&ST比作是广教会派，那么启蒙传统则是这个教派中的重要部分。诚然，一些技术教育的支持者呼吁进行HPS的改良，所有的通识教育支持者都清晰地认识到HPS存在的必要性（事实上，在全部学科中都应当教授历史与哲学）；鉴于HPS在科学、科学观以及科学心智方面的价值，启蒙运动传统把HPS放在了中心位置。从洛克、普里斯特利到马赫、杜

威以及其他实证主义者，启蒙运动传统提供了一种关于方法、论证和分析的发展手段，而这种手段能够阐明当代社会、文化和教育之间的异议。

经典教育名著《教学：一种颠覆性的活动》(Postman & Weingartner 1969)的作者之一尼尔·波兹曼(Neil Postman)近期出版了一本著作，该书有一个非常吸引人的标题：《建造通向18世纪的桥梁：过去何以改变未来》(Postman 1999)。在陈述了一大段我们熟知的现代社会与文化中存在的各种弊病之后，他写道：

“出于这种考虑，我建议我们应该将注意力转向18世纪。我认为在那个时代，我们将会找到通往未来人文主义的方向和思路，满怀信心地、体面地穿过桥梁，通往21世纪。”

(Postman 1999, p. 17)

作为对康德和所有聪明的评论家的呼应，波兹曼认识到正是那些精神、世界观和方法界定了历史上的启蒙运动。大多数人认同他的观点：

“我们并不是要回到18世纪复制当时它所塑造的整个体系，而是为了更好地了解什么才适合我们。回顾18世纪是为了寻求启迪而不是复制整个模型，是为了采纳它的基本原则而不是细节。”

(Postman 1999, p. 17)

注 释

1. 启蒙运动和它所处的一段历史时间内涌现出了大量文学著作。至少包括：Dupré (2004)、Gay (1970)、Grayling (2007, 2009)、Himmelfarb (2004)、Israel (2001)、Pagden (2013) 和 Porter (2000)。
2. 关于这些区别，详见 Israel (2001)。
3. 对于这些特征的描述，参见 Shimony (1997)。
4. 这是一个比较复杂的问题，但是可以参见 Hunt (2007)。
5. 参见 Munck (1990) 对17世纪生活的简要介绍，以及对该时期农奴制度、奴隶制度、封建制度、专制主义、愚昧无知、君主与教会控制下的出版物和言论、天花和瘟疫的盛行、强制性的宗教信仰、巫术、根深蒂固的迷信思想等的描述。
6. 正如将在第十二章阐述的：400年后，一些具备科学知识的社会学家将会公开地证实“谈论”可以创造我们所谈论的对象，还可以把它们变成现实。而德弗里亚斯似乎对唯心主义和困惑的本体论诡计具有常识上的疑问。
7. 在英格兰有关科学革命的经典讨论是1938年默顿的《17世纪英格兰的科学、技术和社会》

(Merton 1938/1970)。

8. 关于运用牛顿的科学方法解决圣经问题, 参见Buchwald和Feingold(2012)。
9. 关于“教育和启蒙运动”的主要特征和指导文献, 参见Parry(2007)和Schmitter *et al.* (2003)。
10. 洛克教育理论的启蒙运动背景, 参见Tarcov(1989)。
11. 第七章会有更多关于普里斯特利的描述。对普里斯特利最具权威性的研究是罗伯特·斯科菲尔德(Robert Schofield)出版的两部自传(1997, 2004), 他在书后附上了一份翔实的书目, 涵盖普里斯特利的许多书籍、小册子和文章。
12. 随后的150年间, 只有英语版本的光学史。
13. 这一权威性的著作指导了富兰克林、沃特和其他一些科学家, 最终成就了电学的诞生。
14. 关于18世纪90年代爆发的反雅各宾派暴乱的背景和处理情况, 参见Thompson(1963/1980, p. 111-130)。
15. 约翰·布莱德雷(John Bradley), 英国化学家和教育家。他在化学教学中采用马赫原则(Bradley 1963—1968)并撰写了一本关于马赫科学哲学的实用性书籍(Bradley 1971)。马赫作为教育家的部分可以参见Mattews(1990)。关于本主题最全面且有参考文献的文章参见Siemsen(2014)。
16. 关于马赫在科学、哲学及其他领域的巨大影响, 可以参见Blackmore *et al.* (2001)引用的精彩的文献资源。
17. 第一本类似的杂志首刊于1870年德国期刊《数学与科学教育杂志》(Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht)。该期刊由弗莱贝格萨克森自由州矿业城初级中学教师霍夫曼(J.C.V Hoffmann)主编, 感谢凯瑟琳·欧莱斯克(Kathryn Olesko)提供的信息。
18. 参见凡米赛尔(von Mises)的正史(1951)、艾耶尔(Ayer)的一些经典文献(1959)和帕里尼(Parrini)等准确的当代评估(2003)。也可以参见托马斯·尤蓓尔(Thomas Uebel)关于“维也纳学派”信息概览的网络版《斯坦福哲学百科全书》(Uebel 2012)。
19. 实证主义者期望的科学、哲学和其他学科的联系, 以及教育、政治和文化方面的尝试可以参见纽拉斯(Neurath)等人编写的《国际统一科学百科全书》第一卷(1938)。伯特兰·罗素(Bertrand Russell)和约翰·杜威两人受邀编写教育部分的相关章节。参见Reisch(2005, Chapter 1, 2)和Uebel(1998)。
20. 传记信息源自于费格尔自己的日常生活故事(Feigl 1974/1981)和保罗·费耶阿本德的《费格尔纪念文集》(Feyerabend 1966)。
21. 关于自主性作为教育目标的进一步阐述, 参见Dearden(1975)。
22. 关于理性和教育的主题以上讲述了很多; 关于讨论和文献的良好起点, 可以参见Siegel(1997)。
23. 斯金纳(B.F.Skinner)的知识明显受到逻辑实证主义的影响。整个复杂的行为主义、实证主义和哲学得到了许多文献的验证。其中参见: Mackenzie(1977)、Scriven(1956)和Smith(1986)。
24. 关于杜威和科学教育的文献综述, 特别是有关科学教育中历史与哲学因素的概念, 参见Johnston(2014)。
25. 参考Porter与Teich的贡献(1992)。
26. 欧洲科学的扩张、它与帝国主义的联系以及它在殖民地的反响可以作为独立的研究, 此处至少可以参见Pyenson(1993)。
27. 第十八条和最后一条谬说认为: “罗马教宗能够也应该接受自己, 并在发展自由主义与现代文明等方面达成共识。”整个大纲可见www.papalencyclicals.net。
28. 特里维廉返回英国后被派往英属爱尔兰进行视察。众所周知的是他对爱尔兰在1846—1851年间有100万人因饥饿和流行病死亡的评论, 他说这是“神的旨意”。这是一个令人难过的评论, 是科学教育未能在大众知识和社会理解力方面产生传感效应的失败。对于一些人来说, 科学教育并没有这样的传感效应。

29. 费边社于1884年成立,英国工党于1900年成立,剑桥哲学家伯特兰·罗素及后来的剑桥化学家伯纳尔(J.D Bernal)的文章及演讲都受到了大众的欢迎。
30. 安贝德卡尔理应被大众所熟知。在接受大学教育的第一批“平民”中,他获得了经济学(哥伦比亚大学)和法学(伦敦大学)的博士学位。尽管成为印度首位司法部长,安贝德卡尔在旅行时仍然不能入住酒店,因为这将“玷污”酒店的名声,从而导致其他客人退宿,后来的客人永不入住。尽管圣雄甘地试图改善印度教中存在的一些糟糕的特征,但是他却没有改变上述观念。安贝德卡尔一生不断发起抗争运动,关于这点,参见Jaffrelot(2005)。
31. 关于这些主题,参见Mahanti(2013)、Nanda(2003, Chapter 8)、Sarukkai(2014)以及Bhargava和Chakrabarti(2010)的贡献。

参考文献

- Arons, A.B.: 1988, 'Historical and Philosophical Perspectives Attainable in Introductory Physics Courses', *Educational Philosophy and Theory* 20 (2), 13-23.
- Ayer, A.J. (ed.): 1959, *Logical Positivism*, The Free Press, New York.
- Berlin, I. (ed.): 1956, *The Age of Enlightenment: The Eighteenth Century Philosophers*, Mentor Books, New York.
- Bhargava, P.M. and Chakrabarti, C.: 2010, *Angels, Devil and Science: Collection of Articles on Scientific Temper*, National Book Trust, New Delhi.
- Blackmore, J.T.: 1972, *Ernst Mach: His Work, Life and Influence*, University of California Press, Berkeley, CA.
- Blackmore, J.T., Itagaki, R. and Tanaka, S. (eds): 2001, *Ernst Mach's Vienna 1895-1930*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Boorstin, D.J.: 1948, *The Lost World of Thomas Jefferson*, Beacon Press, Boston, MA.
- Bradley, J.: 1963-1968, 'A Scheme for the Teaching of Chemistry by the Historical Method', *School Science Review* 44, 549-553; 45, 364-368; 46, 126-133; 47, 65-71, 702-710; 48, 467-474; 49, 142-150; 454-460.
- Bradley, J.: 1971, *Mach's Philosophy of Science*, Athlone Press of the University of London, London.
- Brooke, J.H.: 1987, 'Joseph Priestley (1733-1804) and William Whewell (1794-1866): Apologists and Historians of Science. A Tale of Two Stereotypes'. In R.G.W. Anderson and C. Lawrence (eds) *Science, Medicine and Dissent: Joseph Priestley (1733-1804)*, Wellcome Trust & Science Museum, London, pp. 11-27.
- Buchwald, J. and Feingold, M.: 2012, *Newton and the Origin of Civilisation*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Burman, E.: 1984, *The Inquisition: The Hammer of Heresy*, Dorset Books, Wellingborough, UK.
- Cassirer, E.: 1932/1951, *The Philosophy of the Enlightenment* (trans. Fritz C.A. Koelln and James P. Pettegrove), Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Cohen, R.S. (ed.): 1981, *Inquiries and Provocations: Selected Writings of Herbert Feigl 1929-1974*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Collins, H.M. and Pinch, T.: 1992, *The Golem: What Everyone Should Know About Science*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Condorcet, N.: 1976, *Selected Writings*, K.M. Baker (ed.), Bobbs-Merrill, Indianapolis, IN.
- Dearden, R.F.: 1975, 'Autonomy as an Educational Ideal I'. In S.C Brown (ed.) *Philosophers Discuss Education*, Macmillan, London, pp. 3-18.
- Dewey, J.: 1910, 'Science as Subject-Matter and as Method', *Science* 31, 121-127. Reproduced in *Science & Education*, 1995, 4 (4), 391-398.
- Dewey, J.: 1916/1966, *Democracy and Education*, Macmillan, New York.

- Dewey, J.: 1938, 'Unity of Science as a Social Problem'. In O. Neurath, R. Carnap and C.W. Morris (eds) *International Encyclopedia of Unified Science*, Vol.1, pp. 29-38.
- Duhem, P.: 1906/1954, *The Aim and Structure of Physical Theory* (trans. P.P. Wiener), Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Dupré, L.: 2004, *The Enlightenment and the Intellectual Foundations of Modern Culture*, Yale University Press, New Haven, CT.
- Feigl, H.: 1955, 'Aims of Education for Our Age of Science: Reflections of a Logical Empiricist'. In N.B. Henry (ed.) *Modern Philosophies and Education: The Fifty-fourth Yearbook of the National Society for the Study of Education*, University of Chicago Press, Chicago, IL, pp. 304-341. Reprinted in *Science & Education* 13 (1-2), 2004.
- Feigl, H.: 1974/1981, 'No Pot of Message'. In R.S. Cohen (ed.) *Inquiries and Provocations: Selected Writings 1929-1974*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1-20.
- Feyerabend, P.K.: 1966, 'Herbert Feigl: A Biographical Sketch'. In P.K. Feyerabend and G. Maxwell (eds) *Mind, Matter, and Method: Essays in Philosophy of Science and Science in Honor of Herbert Feigl*, University of Minnesota Press, Minneapolis, MN, pp. 3-13.
- Feyerabend, P.K.: 1975, *Against Method*, New Left Books, London.
- Frank, P.: 1907/1949, 'Experience and the Law of Causality'. In his *Between Physics and Philosophy*, Harvard University Press, Cambridge, MA, pp. 53-60.
- Frank, P.: 1931/1998, *The Law of Causality and Its Limits*, R.S. Cohen (ed.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Frank, P.: 1946/1949, 'Science Teaching and the Humanities', *Etc.: A Review of General Semantics* 4 (3). In his *Modern Science and Its Philosophy*, Harvard University Press, Cambridge, MA (1949), pp. 260-285.
- Frank, P.: 1947/1949, 'The Place of Philosophy of Science in the Curriculum of the Physics Student', *American Journal of Physics* 15 (3), 202-218. Reprinted in his *Modern Science and Philosophy*, Harvard University Press, Cambridge, MA, pp. 228-259.
- Frank, P.: 1949, 'Introduction: Historical Background'. In his *Modern Science and Its Philosophy*, Harvard University Press, Cambridge, MA, pp. 1-52.
- Friedman, M.: 1999, *Reconsidering Logical Positivism*, Cambridge University Press, New York.
- Gay, P.: 1970, *The Enlightenment: An Interpretation*, 2 volumes, Weidedfeld & Nicolson, London.
- Grayling, A.C.: 2007, *Towards the Light: The Story of the Struggles for Liberty & Rights That Made the Modern West*, Bloomsbury, London.
- Grayling, A.C.: 2009, *Liberty in the Age of Terror: A Defence of Civil Society and Enlightenment Values*, Bloomsbury, London.
- Haksar, P.N. et al.: 1981, *A Statement on Scientific Temper*, Nehru Centre, Bombay.
- Hankins, T.L.: 1985, *Science and the Enlightenment*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Hiebert, E.N.: 1976, 'Introduction'. In E. Mach *Knowledge and Error*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands (orig. 1905).
- Himmelfarb, G.: 2004, *The Roads to Modernity. The British, French, and American Enlightenments*, Alfred A. Knopf, New York.
- Höfler, A.: 1916, 'Ernst Mach: Obituary', *Zeitschrift für den Physikalischen und Chemischen Unterricht* 29 (2).
- Hume, D.: 1739/1888, *A Treatise of Human Nature: Being an Attempt to Introduce the Experimental Method of Reasoning into Moral Subjects*, Clarendon Press, Oxford, UK.
- Hume, D.: 1754-1762/1828, *The History of England: From the Invasion of Julius Caesar to the Revolution in 1688*, 4 volumes, Bennett & Walton, Philadelphia, PA.
- Hunt, L.: 2007, *Inventing Human Rights: A History*, W.W. Norton, New York.
- Israel, J.: 2001, *Radical Enlightenment: Philosophy and the Making of Modernity 1650-1750*, Oxford University

- Press, Oxford, UK.
- Jacob, M.C.: 1998, 'Reflections on Bruno Latour's Version of the Seventeenth Century'. In N. Koertge (ed.) *A House Built on Sand: Exposing Postmodernist Myths About Science*, Oxford University Press, New York, pp. 240-254.
- Jaffrelot, C.: 2005, *Ambedkar and Untouchability: Fighting the Indian Caste System*, Columbia University Press, New York.
- Johnston, J.S.: 2014, 'John Dewey and Science Education'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 2409-2432.
- Kant, I.: 1784/2003, 'What is Enlightenment?' In P. Hyland (ed.) *The Enlightenment: A Sourcebook and Reader*, Routledge, London, pp. 54-58.
- Kant, I.: 1803/1899, *Kant on Education* (trans. A. Churton), Kegan Paul, London.
- Koenigsberger, H.G.: 1987, *Early Modern Europe 1500-1789*, Longman, London.
- Lindsay, J.: 1970, 'Introduction'. In *Autobiography of Joseph Priestley*, Adams & Dart, Bath, pp. 11-66.
- Locke, J.: 1689/1924, *An Essay Concerning Human Understanding*, abridged and edited by A.S. Pringle-Pattison, Clarendon Press, Oxford, UK.
- Locke, J.: 1689/1983, *A Letter Concerning Toleration*, J. Tully (ed.), Hackett Publishing, Indianapolis, IN.
- Locke, J.: 1690/1960, *Two Treatises of Government*. Introduction and Notes by Peter Laslett, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Locke, J.: 1693/1968, *Some Thoughts Concerning Education*. In J.L. Axtell (ed.) *The Educational Writings of John Locke*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 114-325.
- Locke, J.: 1693/1996, *Some Thoughts Concerning Education & Of the Conduct of the Understanding*, R.W. Grant and N. Tarcov (eds), Hackett Publishing, Indianapolis, IN.
- Mach, E.: 1883/1960, *The Science of Mechanics*, Open Court Publishing, LaSalle, IL.
- Mach, E.: 1886/1986, 'On Instruction in the Classics and the Sciences'. In his *Popular Scientific Lectures*, Open Court Publishing, LaSalle, IL, pp. 338-374.
- Mackenzie, B.D.: 1977, *Behaviourism and the Limits of Scientific Method*, Humanities Press, Atlantic Highlands, NJ.
- Mahanti, S.: 2013, 'A Perspective on Scientific Temper in India', *Journal of Scientific Temper* 1, 46-62.
- Matthews, M.R.: 1990, 'Ernst Mach and Contemporary Science Education Reforms', *International Journal of Science Education* 12 (3), 317-325.
- Merton, R.K.: 1938/1970, *Science, Technology and Society in Seventeenth Century England*, Harper & Row, New York.
- Mukherjee, A.P.: 2009, 'B.R. Ambedkar, John Dewey, and the Meaning of Democracy', *New Literary History* 40 (2), 345-370.
- Munck, T.: 1990, *Seventeenth Century Europe: State, Conflict and the Social Order in Europe 1598-1700*, Macmillan, London.
- Nanda, M.: 2003, *Prophets Facing Backward. Postmodern Critiques of Science and Hindu Nationalism in India*, Rutgers University Press, New Brunswick, NJ.
- Nandy, A.: 1983, *The Intimate Enemy*, Oxford University Press, New Delhi.
- Nehru, J.L.: 1946/1981, *The Discovery of India*, Oxford University Press, New Delhi.
- Neurath, O., Carnap, R. and Morris, C. (eds): 1938, *International Encyclopedia of Unified Science*, Vol.1, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Newton, I.: 1713/1934, *Principia Mathematica*, 2nd edn (trans. Florian Cajori), University of California Press, Berkeley, CA (1st edition, 1687).
- Newton, I.: 1730/1979, *Opticks*, 4th edn, I.B. Cohen and D.H.D. Roller (eds), Dover, New York (1st edition, 1704).
- Pagden, A.: 2013, *The Enlightenment and Why It still Matters*, Oxford University Press, Oxford, UK.

- Parrini, P., Salmon, W. and Salmon, M. (eds): 2003, *Logical Empiricism: Historical and Contemporary Perspectives*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, PA.
- Parry, G.: 2007, 'Education and the Reproduction of the Enlightenment'. In M. Fitzpatrick, P. Jones, C. Knellwolf and I. McCalman (eds) *The Enlightenment World*, Routledge, London, pp. 217-233.
- Passmore, J.A. (ed.): 1965, *Priestley's Writings on Philosophy, Science and Politics*, Collier Macmillan, London.
- Peters, M.: 1995, 'Philosophy and Education "After" Wittgenstein'. In P. Smeyers and J.D. Marshall (eds) *Philosophy and Education: Accepting Wittgenstein's Challenge*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 189-328.
- Porter, R.: 2000, *The Enlightenment: Britain and the Creation of the Modern World*, Penguin, London.
- Porter, R. and Teich, M. (eds): 1992, *The Scientific Revolution in National Context*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Postman, N.: 1999, *Building a Bridge to the 18th Century: How the Past Can Improve Our Future*, Alfred A. Knopf, New York.
- Postman, N. and Weingartner, C.: 1969, *Teaching as a Subversive Activity*, Dell Publishing, New York.
- Priestley, J.: 1765/1965, *An Essay on a Course of Liberal Education for Civil and Active Life*. In J.A. Passmore (ed.) *Priestley's Writings on Philosophy, Science and Politics*, Collier Macmillan, London, pp. 285-304.
- Priestley, J.: 1767/1775, *The History and Present State of Electricity, with Original Experiments*, 2nd edn, J. Dodsley, J. Johnson and T. Cadell, London; 3rd edition, 1775, reprinted Johnson Reprint Corporation, New York, 1966, with Introduction by Robert E. Schofield.
- Priestley, J.: 1772, *The History and Present State of the Discoveries Relating to Vision, Light, and Colours*, 2 volumes, London.
- Priestley, J.: 1775-1777, *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, 2nd edn, 3 volumes, J. Johnson, London. Sections of the work have been published by the Alembic Club with the title *The Discovery of Oxygen*, Edinburgh, 1961.
- Priestley, J.: 1785, *The Importance and Extent of Free Inquiry in Matters of Religion*, to which is added *The Present State of Free Inquiry in this Country*, J. Johnson, Birmingham, UK. In Rutt, *Collected Works*, Vol.15, pp. 70-82.
- Priestley, J.: 1788, *Lectures on History and General Policy to Which is Prefixed, An Essay on the Course of Liberal Education for Civil and Active Life*, P. Byrne, Dublin.
- Priestley, J.: 1790, *Experiments and Observations on Different Kinds of Air, and Other Branches of Natural Philosophy, Connected with the Subject. Being the Former Six Volumes Abridged and Methodized*, 3 volumes, J. Johnson, Birmingham, UK.
- Priestley, J.: 1791, 'The Proper Objects of Education'. In J.T. Rutt (ed.) *The Theological and Miscellaneous Works of Joseph Priestley*, Vol.15, pp. 420-440.
- Pyenson, L.: 1993, 'The Ideology of Western Rationality: History of Science and the European Civilizing Mission', *Science & Education* 2 (4), 329-344.
- Reisch, G.A.: 2005, *How the Cold War Transformed Philosophy of Science. To the Icy Slopes of Logic*, Cambridge University Press, New York.
- Rousseau, J.J.: 1762/1991, *Emile, or On Education* (trans. Allan Bloom), Penguin, Harmondsworth, UK.
- Rutt, J.T.: 1831-1832, *The Life and Correspondence of Joseph Priestley*, 2 volumes, London.
- Sarukkai, S.: 2014, 'Indian Experiences with Science: Considerations for History, Philosophy and Science Education'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1693-1720.
- Schmitter, A.M., Tarcov, N. and Donner, W.: 2003, 'Enlightenment Liberalism'. In R. Curren (ed.) *A Companion to the Philosophy of Education*, Blackwell Publishing, Malden, MA, pp. 73-93.
- Schofield, R.E.: 1997, *The Enlightenment of Joseph Priestley: A Study of His Life and Work from 1733 to 1773*, Penn State Press, University Park, PA.
- Schofield, R.E.: 2004, *The Enlightened Joseph Priestley: A Study of His Life and Work from 1773 to 1804*, Penn State

Press, University Park, PA.

- Scriven, M.: 1956, 'A Study of Radical Behaviourism', *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, 1, 88-130.
- Shimony, A.: 1997, 'Presidential Address: Some Historical and Philosophical Reflections on Science and Enlightenment'. In L. Darden (ed.) *Proceedings of the 1996 PSA Meeting*, S1-14.
- Siegel, H.: 1997, *Rationality Redeemed? Further Dialogues on an Educational Ideal*, Routledge, New York.
- Siemens, H.: 2014, 'Ernst Mach: A Genetic Introduction to His Educational Theory and Pedagogy'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 2329-2357.
- Smith, L.D.: 1986, *Behaviorism and Logical Positivism*, Stanford University Press, Stanford, CA.
- Tarcov, N.: 1989, *Locke's Education for Liberty*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Thompson, E.P.: 1963/1980, *The Making of the English Working Class*, Penguin, Harmondsworth, UK.
- Tobin, K.: 1998, 'Sociocultural Perspectives on the Teaching and Learning of Science'. In M. Larochelle, N. Bednarz and J. Garrison (eds) *Constructivism and Education*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 195-212.
- Uebel, T.E.: 1998, 'Enlightenment and the Vienna Circle's Scientific World-Conception'. In A.O. Rorty (ed.) *Philosophers on Education: New Historical Perspectives*, Routledge, New York, pp. 418-438.
- Uebel, T.E.: 2012, 'Vienna Circle', *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2012 edn), Edward N. Zalta (ed.), available at: <http://plato.stanford.edu/archives/sum2012/entries/vienna-circle>
- Various: 2011, *Scientific Temper Statement Revisited: The Palampur Declaration*. Available at: <http://st.niscair.res.in/scientific-temper-statement-revisited>
- von Mises, R.: 1951, *Positivism*, Harvard University Press, Cambridge, MA.

为了评价HPS在科学教学中的价值，了解学校科学课程的历史和多样性以及课堂教学出现的主要争议都是大有裨益的。本章和后续两章将通过阐述情境教学法或通识教学法及当下的课程主张，对学校科学教学的发展状况进行概述。而科学课程的多样性和变化也给我们提出了“设定不同课程方向的依据”、“教育和其他因素对某种变化的影响程度”等问题¹。

课程中的自然哲学

科学，曾经一度被称为“自然哲学”。它于18世纪中叶被部分学校引入。在当时，科学进入学校的现象并没有得到普遍的称赞。而神学、经典名著和人文学科则被认为有助于培养社会精英，提高基本读写能力、计算能力，巩固宗教信仰。它们与简单的贸易课和家政课一起，被认为是当时最适合大众的课程。进入19世纪，英国的托马斯·赫胥黎(Thomas Huxley)、亨利·阿姆斯特朗(Henry Armstrong)和托马斯·珀西·纳恩(Thomas Percy Nunn)，美国的约翰·杜威(John Dewey)，德国的恩斯特·马赫(Ernst Mach)和约翰·弗里德里希·赫尔巴特(Johann Friedrich Herbert)以及更早的法国数学家德孔多塞(de Condorcet)都支持普及科学教育²。科学一旦融入课程，就引发了对科学内容、目标、教学方法和教学对象的讨论。教学对象的讨论围绕着我们现在所谓的“科学为大众”这一主题，即：是否所有学生都应该学习内容相同的科学课程？或者是否应该根据学生选择继续攻读大学、高中毕业后直接步入社会、对科学完全没有兴趣等不同情况制定不同的科学教学方案？

英国曾经流传这样一个说法：科学服务于工业革命，这一点也反映在教育事业中(Uglow 2002)。詹姆斯·弗格森(James Ferguson)写过

一本著作《自然哲学》(1750)。该作品多次印刷,1806年经大卫·布鲁斯特(David Brewster)伯爵修订,并于当年在美国发行。布鲁斯特这样介绍该作品:“弗格森先生工作的首要目标是让人们熟悉自然科学,并使它更容易被那些不常使用数学研究方法的人所接受。”(Woodhull 1910, p. 18)布鲁斯特接着说道:“从没有一本基于同样主题的书籍能够像该书一样在所有社会阶层被如此广泛地阅读和传播。”《自然哲学》中有62页用来描述关于机器的知识,有40页用来描述机械泵的研究。这些与日常生活息息相关的实用性技术知识在其他实用性书籍中也有提及,例如帕克(R. G. Parker)第22版《实验哲学的学校纲要》(1837),科姆斯托克(J. L. Comstock)第73版《自然哲学系统》(1846),以及德雷珀(J. W. Draper)《面向学校的自然哲学》(1847)。

德雷珀在下面的文字中阐述了什么是长期存在于科学教学中的困境:

“目前,自然哲学有两种不同的教学方法:(1)自然哲学作为一门实验科学;(2)自然哲学作为数学的一个分支。我认为最合理的课程设置方式应该是首先从实验角度教授自然科学。”

(Woodhull 1910, p. 21)

但美国和英国的高校并不这么认为。1872年左右,自然哲学从美国学校消失,被高中物理和充斥着代数和数学公式的课本取代,原本常用的机械的图解被替换成了抽象的线形图。伴随着新课本的出现,长期存在的繁冗的课程问题也显现出来。纽约州教育局(New York State Department of Education)在1905年发布了《物理学主题大纲》。大纲中包含260个主题,共120个学时,这意味着每个新的主题只有半个小时的课时(Mann 1912, p. 66)。而这样的课程安排也为后来长期被美国所诟病的“只有广度、没有深度”的科学课程埋下了伏笔。

然而并非所有人都认为这种新的科学教学是对原有科学教学的改进。19世纪末,许多人高举“物理教学革新运动”的旗帜,倡导回归先前那种关注实用性和实验性的自然哲学课程和教科书³。该运动的部分目的是为了能更好地在科学课程中进行科学原理的教学。他们认为,每个主题花费30分钟,相当于使用一门外语进行讨论,这种方式对孩子们学习科学原理是没有益处的。这种新运动反对课程中问题的设置形式,例如:

“一个5,000达因的力在一个质量为250克的物体上作用10秒钟，有多少动量传递到这个物体上？”然而学生并不知道日常生活中5,000达因的力是多大；一个这样大小的力可以推倒一个成年人吗？它能够把一个橙子放到桌子上吗？(Mann 1912, p. 89)

20世纪50年代美国的科学教育

美国的科学教育发展至今，主要有三个相互竞争的流派：理论性流派——强调课程的概念性结构；实用性流派——强调与日常事物相关的科学知识及其运作；通识性或情境性流派——强调科学的发展历史和文化内涵。当然，这三个流派并不是相互排斥的，而是像很多边界线一样，是相互交叉的。

到20世纪50年代，科学教育的一个重要发展趋势是加强对科学实用性、职业性、社会性和人文性等方面的认识，以及促进课程中这几个方面的融合。在许多方面，这种状况仿佛回到了过去——就好像单摆运动的教学。例如，生物教学在这段时间变得更加缺乏理论性(Hurd 1961, Rosenthal 1985)。1909年，有教师抱怨说学校生物学教科书的内容如同百科全书般宽泛并且理论性太强，它们更适合博士考试。在观摩了课堂教学后，教师对学生能否正确理解“卵原细胞”、“精子囊”和“合子”这些概念感到怀疑(Rosenthal 1985)。20世纪上半叶，为了应对进步教育团体、商业和工业的需求、环境问题、人口变化以及对健康的关注等带来的压力，高中生物学开始逐渐从大学生物体系中分离出来。芬利(Finley)在1926年发表的文章中强调“生物学的实用性、生态价值、经济价值以及为人类带来的福利等”。他发现，一般而言，“生物教学的目的从‘为生物发展教授生物’逐渐发展为‘为人类福利教授生物’”(Rosenthal 1985, p. 105)。一篇题为《生物课程的兴起：生命的科学或生活中的科学》(Rosenthal & Bybee 1987)⁴的综述对这些发展进行了阐述。

第二次世界大战为实用生物学带来了长足的发展：疾病预防、卫生保健和农业生产都成为指导课程设计中的实践应用部分。哥伦比亚师范学院研发了一门课程，强调将“科学内容和科学方法用来处理科学进步引发的大量个人与社会性议题”，目的是让人们们“科学的社会性和社

会功能有清晰的了解” (Layton & Powers 1949)。这种对“科学与个人相关性”的关注在美国中学联合会下属消费者教育协会的一份报告中有所体现,即美国科学教师协会(NSTA)于1945年公开出版的《科学在教育消费中的地位》的报告。这份报告敦促科学教育应当关注以下两方面:一是那些能够帮助消费者理智购买商品的知识,二是解决消费者问题的有效程序(Hurd 1961, p. 85)。

不仅生物学科更加关注实用性,到20世纪50年代中期,物理学教科书也开始关注实用性问题,并给出与物理原理相关的生活案例。道格拉斯·罗伯茨(Douglas Roberts)(1982)指出:在电学这一章,我们应当讨论一些关于电话、电熨斗、家庭电路和保险丝及日常家用电器工作原理的问题;在液体这一章,应当涉及一些城镇供水系统、液压刹车系统等类似的话题。

在这种注重实用性的科学传统中,有一些可预见的关注点:一些强调个人层面的应用——如卫生保健、消费决策、花园种植、兴趣爱好等;另外一些响应商业所需的职业技能,强调科学的社会性应用(Callahan 1962);还有一些强调对社会和科学相互关系的理解。现在的科学—技术—社会(science-technology-society, STS)教育其实和两次世界大战期间的实用性科学课程具有相似的传统。

这种实用传统受到了两方面的批评:一方面,来自于主张教授科学理论性、规律性结构的人,另一方面来自于拥护科学人文性和文化性的人。美国生物学会联合会批判那种不把生物作为一门科学来教,而是作为一种兴趣爱好或一系列实用技术来教的倾向(Rosenthal 1985, p. 109),他们支持专业的学科课程。这种主张在1947年美国科学促进会(American Association Advancement of Science, AAAS)题为《目前我们的学校在培养科学家方面取得的成效》的报告中得到回应。报告提到:

“报告的前提是我们需要将这些步骤当做是必要的,从而确保:
(1)有足够多有能力的科学家从事摆在他们面前的任何工作;(2)参与投票的公民能够理解和支持科学家在捍卫人们生活以及为人们创造更好生活中扮演的角色。”

(In Klopfer & Champagne 1990, p. 137)

相比之下,哈佛委员会(1945)倡导科学教育“必须在另一种环境、

文化、历史、哲学背景下学习科学事实”。委员会制定了一个人文科学教育宣言，宣言声称：

“基础教育中的科学教学应该具备广泛的综合基础——科学同其他思维方式的比较、个体科学间的比较、科学及科学史与一般人类历史的关系，以及科学与人类社会中的问题之间的关系。在这些领域中，科学可以对通识教育中所有的学生提供持久性的帮助……事实上，在大学之前，所有的科学教学都应该致力于通识教育。”

(Conant 1945, pp. 155-156)

1944年，美国教育学会(National Educational Association)发布了一份题为《面向全美青少年的教育》的报告，报告提议在大学前进行科学的人文教学。除了特定的学科知识，对于十年级的学生，科学课还应该向他们介绍科学在人类发展中的作用，帮助学生用科学的视角看待世界和人类、看待科学发展史以及将伟大科学家与其主要实验联系起来(Hurd 1961, p. 83)。1958年，克拉伦斯·福斯特(Clarence Faust)在耶鲁大学举办的总统科学顾问国家会议中的发言强调了这种情境教学法：

“美国人生活中最需要的是什么，是对知识、智力成果、精神生活、书和学习以及基础科学和哲学智慧的新认识……如果教育仅仅被视为获得个人进步、社会成就和综合国力的手段，那么教育将无法兑现它的承诺……我们不仅需要力量，也需要智慧……这是对教育基本功能的承诺。”

(Elbers & Duncan 1959, p. 178)

因此，到20世纪50年代斯普特尼克危机(Sputnik crisis)时期，至少存在三种关于学校科学教育的本质、目的和重点相互对立的观点：

1. 强调实用性、技术性和应用性；
2. 强调文化性、通识性和人文性；
3. 强调专业性、理论性和学科性。

这些与埃利奥特·艾斯纳(Elliott Eisner)(1979)提到的“课程取向”类似。罗伯茨(1982)对众多科学课程进行了调查，界定了7个“课程重点”。上面提到的三个观点大致和罗伯茨提出的“日常生活所需应对的事情”、“自我诠释”、“正确的解释”相对应。不管是罗伯茨提

出的分类还是上述提到的三个观点，彼此之间都是不排斥的。强调其中一个观点的课程通常也包含了其他观点。这些观点之间争论的内容正是科学教育的总体发展方向，也是科学教育想要实现的目标。

这些严肃的教育问题帮助我们识别选择课程的理由，进而对这些选择进行评判。这些决策的制定是否有教育或哲学依据？还是说一个社会课程只是呈现并延续了上一个政治、经济以及利益群体的意愿？很显然，对选择进行证明的努力最终会指向教育哲学，而对课程的证明需要关注教育目标、个人成长所需要的东西，以及理解个体和社会间相互关系的政治修养⁵。

美国国家科学基金会课程（20世纪50年代—60年代）

在20世纪50年代初期，美国的一些学者、科学家、专业协会会员以及走在科学前沿的物理学家，带头掀起了美国科学教育改革的浪潮。这些群体十分担忧科学和数学在学校教育中衰退。1910年至1950年这40年间，美国学校的非学术课程（烹饪、打字、驾驶等）从8门激增至215门，而原本独立的物理和化学课被合并为普通科学，代数则成为普通数学的一部分⁶。

1957年10月4日，苏联的人造地球卫星成功进入轨道，这件事情带来的冲击横扫美国的政治界和教育界。戴安娜·拉维奇（Dianne Ravitch）评论道：

“苏联卫星的发射……迅速结束了美国对教育质量持续多年的争论。自20世纪40年代后期以来，那些认为美国学校教育不够严格、生活适应教育削弱了知识价值的观点得以证实。就像一位历史学家后来写道，‘一个被震撼和压倒的国家终于开始了深刻的教学反思’。”

（In DeBoer 1991, p. 146）

苏联人造卫星升天使美国将科学教育改革提升到了国家振兴的层面。卫星发射所引发的恐慌也促进了众多法案的颁布，其中最重要的一个是1957年《国防教育法案》——该法案规定在1958年到1961年三年的时间内，向科学教育投入9,400万美元的资金，并且从1961年至1975年再投入6亿美元的资金。大大小小各种会议开始在全国范围内召开。其中一

个具有代表性的会议是上文提到的，由科学家和工程师总统委员会财政赞助的耶鲁大学会议（Elbers & Duncan 1959）。

而美国国家科学基金会（National Science Foundation, NSF）开始促进基础学校科学向前期大学科学转化，这一过程有时也被称为学校科学的职业化过程。1954年，NSF第一次为学校课程拨款1,725美元，之后于1956年为物理科学研究委员会（Physical Science Study Committee, PSSC）拨款300,000美元。《国防教育法案》改变了这种微薄的资金投入，继而改变了美国的科学教育。1957年，NSF称其课程设计：

“试图对科学家和教育工作者们通常关心的问题做出回应，如有关现今小学和初中学校教育无法激发学生学习兴趣以及对科学课程理解的失败等问题。普遍盛行的观点是：现在学校中教授的多数科学内容既没有反映知识的发展现状，也没有选择最适合教学目的的材料。”

（Crane 1976, pp. 56-57）

1956年，麻省理工学院的物理学家杰罗德·扎卡赖亚斯（Jerrold Zacharias）⁷用国家科学基金的一小笔款项创立了物理课程改革项目（PSSC）。这是在苏联人造卫星造成国家恐慌的刺激下“少数资金助长大项目”的案例。委员会编制了PSSC物理学教科书，并最终被数以百万计的美国学生以及全世界学生使用。随着该书多个翻译版本的问世，它成为历史上使用最多的科学教科书⁸，甚至可以被戏称为教育界的麦当劳和可口可乐。该教科书的西班牙语和葡萄牙语译本，以及激励拉丁美洲教师到美国接受培训的奖学金，一同塑造了几十年来拉丁美洲物理学教学模式。PSSC物理学教科书的目的是聚焦物理学的概念框架，并将物理作为一门单独的学科进行教授，因而在教材中几乎没有什么实用性材料。正如扎卡赖亚斯陈述的那样：

“在设计一个课程时应该明确其最终目的并进行追溯……我们应当让学生理解量子化的整体概念以及粒子和波的整体概念……由此追溯，我们说学生必须理解物质的电属性……再由此追溯到牛顿力学。了解一个人为什么相信牛顿力学也是必要的。一个人之所以相信牛顿力学是因为天体力学，而不是因为桌子上的几块木头。”

（Zacharias 1964, p. 67）

基于这种课程理论或教育指南，我们很容易理解为什么教师在课堂教学中几乎不再教授桌上的木块这类问题，这在本书后面也会提到，譬如“将蛋奶酥放到烤箱的什么位置”这类问题也没有分配相应的教学时间。在第四章中我们将会提到，气压没有在PSSC物理学教科书的索引中出现，而是被放在了“气体的性质”这一章中。不仅如此，这一章甚至完全没有提到气压计或者蒸汽机，而气压计第一次出现也只是在该章的注释中。另外，本书的第六章将会提到，扎卡赖亚斯推荐在教授钟摆的时候使用一对钟摆，他相信课堂教学可以使学生理解简单的钟摆，但是这种理解却不包括关于钟摆的众多实际应用问题⁹。

NSF 坚定不移地将科学家放在课程改革的首要位置上，他们把教师看做是最好的改革手段，认为教育机构很难达到极其稳定的状态。PSSC 项目体现了“自上而下”的课程发展模式，它的准则就是“得到物理教师的认可”。扎卡赖亚斯提到 PSSC 物理学课程必须“使用形式极其稳定且不易改变的课程材料”（Zacharias 1964, p. 69）。1962年，NSF 在解释这些政策时称：“项目是由大学的科学家指导，资金用于高等教育机构以及专业科学团体。项目关注的是课程主题而不是教学法”（Klopfer & Champagne 1990, p. 139）。

然而项目的跟踪结果却并没有政策最初描述的那么理想。一位参与项目的教师说道：

“就我在项目中得到的经验来看，课堂实践的结果对后续工作的影响很小。如果没有极具说服力的实证证据，科学家通常不会接受学校教师对他们‘科学’的批判。”

（Welch 1979, p. 288）

20世纪50年代后期和60年代前期，NSF 支持开发了大量的“入门课程”。第一个广泛应用的课程是麻省理工学院的 PSSC。随后的课程包括化学键方法（Chemical Bond Approach, CBA）、生物科学课程研究（Biological Sciences Curriculum Study, BSCS）、化学教育材料（Chemical Education Materials, CHEMS）、地球科学课程（Earth Science Curriculum Project, ESCP）、自然科学导论（Introductory Physical Science, IPS）、物理项目（Project Physics）以及大量其他课

程。截至1975年，NSF支持了28个科学课程改革项目。这些课程中的许多课程是针对小学的：其中包括小学科学研究（Elementary Science Study, ESS）以及科学课程改进研究和科学——一种过程教学法（Science Curriculum Improvement Study and Science - A Process Approach, SAPA）。在课程改革的这段繁荣时期，数百万的学生参与了这些由国家科学基金支持的课程，诸如PSSC（1956—1960，1百万）、CHEMS（1959—1963，1百万）、BSCS（1959—1990，1千万）、IPS（1963—1972，1百万）、ESS（1961—1971，1百万）和SAPA（1963—1974，1百万）。上述这些课程是整个课程体系的核心构成。据估计，1976年—1977年，有1,900万学生使用新的课程材料，这些学生占在校学生总数的43%¹⁰。

大多数NSF资助的项目忽略了科学在实践和技术方面的应用。一种观点认为：

“现在使用的教科书中很少甚至没有提到科学—技术—社会（STS）。我们团队调研了许多广泛使用的教科书……发现这些教科书几乎没有涉及技术领域，也没有涉及我们关注的八个具体领域。事实上，我们发现，现在的教科书甚至比20年前的教科书更少涉及技术领域。教科书变得更加抽象、更加理论化，而很少有实践应用。他们似乎已经达成一种共识，那就是科学教育是面向精英学生的教育。”

（Piel 1981, p. 106）

苏联人造卫星的发射成功以及科学专业化的呼声，为将中小学科学作为大学科学研究的准备这一做法带来了巨大的法律和商业压力。1957年至1987年的30年间，以实践和通识为重点的课程快速让位于学术化或专业化的课程设计。另外，正如预期的那样，这些课程呈现出编写者所认为的科学方法固有的正统观念。例如，20世纪60年代，科学归纳实证主义的观点在课程改革中占据了主导地位。这一点也体现在教育政策委员会于1966年发表的《教育和科学的精神》等一些代表性文件中。文件宣称，在科学中，“一般化是通过离散的信息碎片推导出来的，信息是通过观察得到的，观察是在环境允许的条件下尽可能准确地推导出的”，并且科学需要对其主张进行验证（Education Policies Commission 1966，

p. 18)。然而，仅仅融入一点HPS就可以修正这种显而易见的错误：科学不是通过归纳进步的，也不为其观点寻求验证，更谨慎地说，科学寻求认证它自身的观点。

这里有两个由NSF资助的课程是“例外”——它们有别于当时那种普遍的、和历史无关的、专业化的课程传统，一个是哈佛大学物理学项目，另一个是BSCS高中生物教科书黄皮版。还有其他一些小规模的历史—哲学科学教学案例，如克洛普弗（Klopfer）和库利（Cooley）的《案例史在学生理解科学和科学家的发展过程中的应用》。这些案例史自觉地定位于复制已经构建完善的《哈佛大学实验科学案例研究》，并且该课程成功地在大學里使用。一种使用这种案例学习方法的观点认为：“在高中生物、化学、物理课堂中使用这种方法对学生加深对科学和科学家的理解是非常有效的”（Klopfer & Cooley 1963, p. 46）¹¹。

对NSF改革的评价

到20世纪70年代中期，历经了20年的积极参与和15亿美元的财政支出后，NSF最终从学校课程发展中撤出。1975年，美国联邦基金对NSF课程发展的财政支持甚至低于1959年。时代已经发生改变：苏联的威胁已经减弱，美国人已经成功登月，而学校的招生情况变得愈发糟糕，州和地方当局对政府介入国家课程产生抵制情绪——在当时（以及现在），对美国16,000多所地方学校董事会来说，这种国家干预是一个严重的问题。

有许多研究开始针对政府干预的有效性。在这些研究中，最为著名的是赫尔格森（Helgeson）、布洛瑟（Blosser）和豪（Howe）的研究，他们对1955年—1975年间出现的所有研究成果进行了总结（Helgeson *et al.* 1977），还有诺里斯·哈姆斯（Norris Harms）主持的“综合研究项目”对数百个研究进行了仔细观察（Harms & Yager 1981）。这些研究发现，课程改革仅在达成自身目标和实现政府与社会预期方面取得了局部成功。1979年，原PSSC项目主管遗憾地表示：课程改革运动正在遭受“死气沉沉的挫败感并面临着将要失败的现状”。对课程改革运动的支持者而言，这是一个“绝望和混乱”的时代（Jackson 1983, p. 152）。

50年后，当学校科学课程改革又一次提上政治和教育议程，我们有

必要反思当年的失败和混乱有多少原因是因为课程材料不当造成的；有多少原因是因为教师的能力不够造成的；有多少原因是因为实施不当和逻辑混乱造成的；有多少原因是因为那些反知识或反科学文化因素造成的；以及有多少原因是因为课程方案中包含错误的学习理论和不恰当的科学方法造成的。然而，这些或许还不是问题的全部答案，失败的原因或许被限制了，失败的原因可能会因为课程的不同、学区的不同、甚至学校的不同有所变化。

一位备受尊敬的物理教师、研究员、教材作者和课程规划师阿诺德·阿伦斯（Arnold Arons）曾提醒我们关注一个事实——“无论课程教材编纂得多么巧妙和富有想象力，都不能用于‘指导自身’”（Arons 1983, p. 117）。他认为NSF资助的课程开发了“有趣的、富有想象力的和合乎教育要求的材料”。他把失败的原因归为两个方面：首先，学校教师的后备支持不足；第二，更为重要的是对教师的培训不足。

第一个因素包括一些老生常谈的原因，诸如学校缺少实验室助理、缺乏置办设备的资金、缺少时间开展教学实验进行设备维护、缺乏教师进修的规定；第二个因素包括以下情况，例如缺乏学科知识、未能理解科学学习的心理需求——尤其对经验的需求以及对先进理论和概念的掌握、较差的在职课程——在这些课程中，教师“需要同时学习许多互不相关且难以理解的大学课程，而这些课程对教师的知识没有任何明显的影响”（Arons 1983, p. 120）。不仅如此，科学教师也没有理解和传递所教课程中包含的丰富知识及文化内涵。科学被当做一个精彩的结论来教授，用施瓦布（Schwab）的话说，科学课程中很少体现科学探究的灵活性和结论的灵活性。

其他一些研究也支持阿伦斯不将失败的责任归咎于NSF课程的观点。韦恩·韦尔奇（Wayne Welch）总结：“与教师效率、学生能力、花费在任务上的时间，以及影响学习的许多其他因素相比，课程就显得不那么重要了”。根据一些研究他发现，只有5%的学生成绩的改变是由国家科学基金课程带来的。韦尔奇报告中称他的物理学团队“最终推断，相对我们的投入而言，5%是一个可接受的结果，因为我们几乎找不到课程对学生更大的影响”（Welch 1979, p. 301）。

解读这些结果的一种方式是：虽然课程很重要，但这种重要性并不

体现在课程自身上，仅仅改变课程内容，而不改变教师教育、评价任务、教育资源和对他们的支持，并不能显著影响学生对科学及其他学科的参与度和学习兴趣。事实上，建立声势浩大的课程委员会开发课程，并将课程寄给学校没什么太大作用。一个课程如果没有合适的教科书、测验、教师职责和系统支持，就好比是一辆没有汽油的汽车，看似很好，却不能开往任何地方。很多人认可韦尔奇和阿伦斯等的分析结果，认为教师想要成功的教学，他们所具备的知识素养、教学热情、教学态度、教育理念和对本学科和科学的见解都至关重要。

当代美国课程改革

到20世纪80年代早期，美国的科学教育出现了明显的第二代危机。这次危机被贴上了“科学素养危机”或“逃离科学”这样的标签（Bishop 1989）。尽管自苏联卫星发射成功后，美国投入了大量的资金和精力进行课程改革，然而大部分美国高中毕业生和公民对科学的理解仍非常有限。只有少数人真正了解科学，绝大多数人对科学知之甚少。大量的研究论文和政府报告中都提到了这种情况。但真正把它带入大众视野引起普遍关注，并促使政府展开行动的是1983年发表的报告《国家在危机之中》（A Nation at Risk）（NCEE, 1983）。报告的结论非常鲜明：“目前，社会的教育基础正在被日渐兴起的庸碌浪潮侵蚀，这种浪潮会威胁个人甚至国家的未来”¹²。报告对高中毕业生掌握的科学知识和数学知识的糟糕状况表示了特别的关注。

在《国家在危机之中》发表后的五年时间里，超过300份报告记录了美国教育的糟糕状况。1983年，国会收到了解决科学教育危机的20个议案。这些议案和报告都力促学校采用《面向全体美国人的科学和技术素养》（Mansell 1976）作为科学教学的目标。不仅仅在美国，英国、加拿大、澳大利亚、新西兰以及许多其他国家¹³也采用《面向全体美国人的科学》作为科学教育的目标（Rutherford & Ahlgren 1990）。

当然，我们不应将这个危机完全归咎于一门课程或者一种教学方法，或者认为学校能够对抗来自文化、社会和经济的重大力量。事实上，在美国，工程师与律师的比例是1：500，而在日本，工程师与律师的比例是500：1，这些事情是学校无法控制的，学校也不能影响和改变存在

于律师、理财经理、会计师和科学教师或工程师之间巨大的收入差异的状况。进一步说，学校对那些反知识的大众文化起不到什么作用。波义耳（Boyer）发表于1983年极具影响力的报告《高中》（High School）中提到：

“对全国各地学校的访问给我们留下了一个鲜明的印象：那就是高中缺乏明确和重要的使命。他们无法找到共同目标，或建立广泛共享的教育优先体制，无法将这些资源整合在一起。教育制度处于随波逐流的状态。”

（Boyer 1983, p. 63）

对科学、科学方法、成果和文化相互作用的深入理解——换句话说，也就是对HPS的深入理解，能够对波义耳提到的“明确和重要的使命”起到一定的促进作用，因为教育哲学能够衔接课堂指导、课程和组织决策。从20世纪80年代末AAAS的《2061计划》（Project 2061）到《美国国家科学教育标准》（National Science Education Standards），再到现在的《下一代科学教育标准》（Next Generation Science Standards），HPS以及教育哲学的一些理念已经被纳入到多个国家的科学教育改革建议中¹⁴。教育改革只有借助历史学家、哲学家和教育家的参与，才能使每个阶段的成果变得更好。

《2061计划》

1985年，AAAS进行了一个广泛的全国性研究——《2061计划》¹⁵，用以激励和促进学校教育改革（主要包括数学、技术和社会科学以及自然科学等学科）。我们认识到，在美国，教育决策是由几千个不同的单位共同决定的，包括16,000个独立学区，以及联邦和州立法院逐级授权，然后反过来执行。项目对于自身的评价是“当然，《2061计划》仅仅是面向科学、数学和技术教育新方向众多尝试中的一种（AAAS 1989, p. 155）”。而该项目对历史和哲学的明确依赖是值得关注的。

这个项目的第一份报告——《面向全体美国人的科学》（Science for All Americans）于1989年出版（AAAS 1989, Rutherford & Ahlgren 1990），报告鼓励全体美国高中学生养成良好的科学素养。这份报告中的建议基于以下理念：

“具有科学素养的人能够意识到科学、数学和技术是相互依赖的人类事业，它们既具优势又各具局限性；具有科学素养的人能够理解科学的关键概念和原理；熟悉自然世界并认识到自然世界的多样性和统一性；能够运用科学知识和科学思维方式为个人和社会谋求福利。”

(AAAS 1989, p. 4)

正如第二章中解释的那样，最后一项“运用科学知识和科学思维方式为个人和社会谋求福利”，将《2061计划》和科学教育的启蒙传统联系起来。

报告中有一章介绍科学哲学，还有一章介绍科学史。在十二个章节中涉及的主题跨度甚广，包含了诸如数学、技术、物理世界、生活环境、人体结构、人类社会和 world改造等主题。报告中介绍科学史和科学哲学的章节对那些提倡将科学史和科学哲学融入学校科学课程的人来说是莫大的鼓舞。

哲学条款

所有的科学课程都包含对科学的本质（**nature of science, NOS**）的见解：对科学的认识会影响课程内容、教材的教授方式以及课程的评估标准。课程设计者对科学的认识奠定了课程的基础，教师对科学的认识则影响课程的教学方式和评价方式。当人们能够明确说出对科学的认识时，这些认识就变成了对**NOS**的陈述，或者狭义上的科学认识论。

《2061计划》对**NOS**的观点可以在第一章“科学的本质”这部分中找到，这部分内容包括对客观世界和科学可变性的讨论、科学和非科学的划界争议、证据及其如何与理论评价相关联、逻辑和想象力等科学方法、解释和预测、道德、社会政策和科学社会团体等内容。人们试图在科学课程中发展这些主题，并且强调这些主题应该在“科学主题”下发展，而不应将其视为科学的“附加物”。在《面向全体美国人的科学》第一章中强调了哲学命题的重要性。这些可以纳入AAAS“科学的本质”清单中，或者正如将在第十一章中讨论的那样，这些条款在广义上可以被理解为“科学的特征（**features of science, FOS**）”：

1. 现实主义：物质世界是存在的，且不依赖于人类的经验和知识独立存在。这种本体论的思想与各种各样的理想主义观点相悖。理想主义

认为人类除了经验世界之外没有其他世界，或者认为即使存在这样的世界，它和人们的经验一样，都是想象出来的。报告称：“科学假设宇宙是一个巨大的、独立的系统，在这个系统中基本准则处处适用”（AAAS 1989, p. 25）。现实主义仅仅关注外部世界的存在。它的主张“规律适用于所有地方且处处相同”，这是对现实主义立场的基本阐述。而“基本准则”中假定的处处相同能够达到何种程度，以及实际发现能够达到何种程度都有待实证主义者进一步探讨。

2. 易谬主义：人类可以掌握关于世界的知识，即使这些知识是不完善的，但人们可以比较相互竞争的理论或观点。易谬主义是一个认识论的立场：一方面，它与相对主义的立场是相对的——它认为相互竞争的观点之间不存在可靠比较；另一方面，它与绝对主义的立场也是相对的——它认为当前的理论构成了绝对的、不可修改的知识。报告称：“科学家认为，即使没有办法能够确保完全的、绝对的真理，逐渐接近真理也可以用于解释世界以及世界的运作方式”（AAAS 1989, p. 26）。“接近真理”的概念备受争议，许多哲学家倾向于简单地称其为更好的或更进步的理论。

3. 持久性：显然，科学并不只是简单地抛弃原有的核心概念。一些浅显的证伪主义者将科学家描述成“在质量控制过程中检验与抛弃概念”的说法是站不住脚的。报告称：“对概念的修正——而不是断然拒绝才是科学规范，因为强有力的建构想要生存下去并变得更加精确”（AAAS 1989, p. 26）。哲学家奥图·纽拉斯（Otto Neurath）首次对上述观点给出了形象生动的描述。他提到，修正科学理论就好比修补大海中漏水的船：我们并不是将整个船体都搬出来，而是对木板进行检查，一次替换一个地方。威拉德·范·奥曼·奎因（Willard van Orman Quine）有一个很流行的比方：

“我们就像水手一样，在茫茫的大海上必须修补他们的船，但是我们绝对不能从最底层开始修理。撤去旧木板的地方必须马上放置新木板，而在这期间其余部分的船体都要作为支撑。以这种方式——通过使用旧的木梁和浮板，船体焕然一新，但整个过程却是重构的。”

（Quine 1960, p. 3）

秉承拒绝改变的核心条款，并通过调节不和谐或假数据来构建核心保护带，伊姆雷·拉卡托斯（Imre Lakatos）通过一系列的研究，通过他对科学的理解形成这一概念（Lakatos 1970）。

4. 理性主义：报告坚持改良后的理性主义，其中提到：

“科学论证迟早会遵循逻辑推理的原则——也就是说，通过应用推理标准、示范以及常识来检验论证的有效性。”

（AAAS 1989, p. 27）

旧观点认为在具有争议的观点、理论或研究项目的审议意见中，科学总被认为是合理的。科学史、科学哲学和科学社会学的研究表明，这种旧观念已经得到修正，人们已经认识到个人和外部利益在解决短期纠纷中的作用，而长期纠纷的解决并不能简单地由利益来解释。基督教会最终接受了哥白尼（Copernican）的太阳学说，苏联农业最终接受了孟德尔（Mendelian）的遗传学。这个话题将会在第五章“科学理性的社会学挑战”这个部分做进一步探讨。

5. 反方法论：尽管理性主义者对科学理论辩护，报告却仍抵制这种认为科学发现只有一种方法观点。报告称：“没有简单的可以让科学家按部就班遵循的固定步骤，也没有一条可以毫无过失地引导科学家通往科学知识的捷径”（AAAS 1989, p. 26）。报告强调了科学的创新维度，它指出：

“科学概念不会自动地从任何数据或分析中单独浮现。这个观点经常被学校教育忽视。提出关于世界如何运作的假设或理论，然后明确它们如何付诸实践，就如同写诗、作曲或设计摩天大楼一样需要创造性。”

（AAAS 1989, p. 27）

6. 界限论：科学仍然可以从非科学实践中区分出来。这是一个存在异议和争论的话题，也是1981年创世论学派争论的核心。当时的创世论学派成员认为他们的活动和主流科学活动一样，完全是科学的，因此他们应该在学校科学课程中占有一席之地。创世论科学位于划分科学和非科学鸿沟的哪一边，这是一个问题；而是否存在这样一

个鸿沟又是另外一个问题。此外，报告关于该立场的态度是很明确的：“科学的某些特征可以以探究的模式来区分科学和非科学”（AAAS 1989, p. 26）¹⁶。

7. 可预测性：报告指出：

“科学理论仅仅符合已知的观察现象是不够的，理论也应该符合那些没有用于形成理论的其他观察结果。也就是说，理论应该具有预见性。”

（AAAS 1989, p. 28）

科学的一个特性是它能够预测现象并对结果进行解释。这种观点存在一些问题，并且我们知道验证并不是一件容易的事情，不过，在这个方面能够达成的合理共识是：好的科学理论可以揭示未知现象，而不仅仅用来解释其他理论已经验证过的事情，或者解释已经被确认过的常识。

8. 客观性：人们认识到科学并不仅仅是我们设想的简单的人类活动。自1620年开始，弗朗西斯·培根（Francis Bacon）（1561—1626）的著作《大脑的谬误》（*Idols of the Mind*）为敦促人们消除这些谬误坚持了很长时间。尽管报告认可科学具有人文性的一面，但它依旧主张科学做出的最大努力是试图使人们在判定真相的时候纠正和克服个人主观性。报告称：

“在解读数据、记录或汇报数据、选择首要考虑的数据的过程中，科学证据有可能发生偏离。科学家的国籍、性别、种族、年龄和政治信仰等因素，可能使他们倾向于寻找或强调某种特定类型的证据或解释……然而，科学家需要知道造成偏见的可能原因，以及偏见是如何影响证据的。”

（AAAS 1989, p. 28）

科学中客观性的可能性已经面临来自女权主义者、建构主义者和大多数哲学后现代主义者的挑战。这个问题将会在本书的第五章进行探讨。

9. 适度的形式主义和利益：在提出真理主张的时候，我们试图尽可能避免主观性和利益的影响，这与不同的利益不应影响科学探究的领域的说法不尽相同。无论研究是致力于开拓太空旅行还是廉价的公共交

通；是致力于核能还是太阳能；是致力于化学杀虫剂的开发还是生物控制——这些都是能够体现个人、社会和商业利益的行为。科学不是在政治真空的状态下开展的，大多数国家会制定国家优先发展领域的“清单”，并且只会在这些领域投入公共科研经费。一个研究领域在或不在这个清单上就成为一政治问题。报告承认：

“作为一项社会活动，科学不可避免地反映了社会价值和观点……科研方向受到科学自身文化的非正规影响，例如大众普遍关注的哪些问题最有趣、或哪些调查方法最有效等。基金资助机构通过决定资助哪些研究，最终影响科学的发展方向。”

(AAAS 1989, p. 29)

当有关真理或制定其他事物的决策是为了满足经济或政治团体的利益时，科学就已经从适度的形式主义变成了完全的形式主义。虽然一些科学社会学家就后一种观点展开了争论，然而在报告中却被驳回。这个问题将会在本书第五章“伦理、价值和科学教育”这一部分进行讨论。

10. 伦理观：报告认为科学家并不能决定社会道德价值观，反对“将一切问题留给科学家”的观点，但报告同时也指出，在伦理问题的讨论中，科学工作起到了至关重要的作用。报告指出：

“尽管科学家有时候可以通过识别某些特定行为来讨论某些事物的善恶，然而他们却不能根据善恶给事物下定义。”

(AAAS 1989, p. 26)

这个问题也将会在本书第五章“伦理、价值和科学教育”这一部分进行讨论。

从前述的概要中，我们可以清晰地认识到《2061计划》是从现代历史学、哲学和科学社会学的角度来描绘科学画面的。因为这个文件原本只是课程框架，并不是一本学术论著，因此《2061计划》并不包括对上述议题的详细论述。然而，由于该计划希望地方机关对文件做出反思和回应，从而这些议题就可以在地方层面上得到更为全面的讨论。对于上述列出的每一点，科学哲学家、历史学家和社会学家都各抒己见，呈百家争鸣之势。这个文件将会成为反思的珍贵起点，它明确要求教师和决

策者的行为应当与科学哲学相适应，这种适应完成得越好，教育和哲学群体间的参与就会越多¹⁷。

历史视角

尽管不如《2061计划》中那样明确，但各种课程方案经常会谈论科学哲学。《2061计划》的特色是在学校科学教学中给予科学史一席之地。报告在第十章介绍“历史视角”时指出：

“这里强调的是可以代表科学知识的演化与影响的十个重大发现与变革：地球是行星、万有引力、相对论、地质时期、板块构造理论、物质守恒、放射现象和核裂变、物种进化、疾病的本质和工业革命。”

(AAAS 1989, p. 111)

《2061计划》指出，“尽管其他选择可能同等有效，但以上这些发现明显符合我们对范式历史主题和文化意义的双重标准”。

《2061计划》提出了支持将历史引入学校科学教学的两个理由。这两个理由都引起了科学哲学家和教育家的兴趣。第一个理由是：

“如果没有具体案例，那么概括科研机构如何运作就是没有意义的。例如，新观点会受到假定环境的限制、经常会被科研机构否定、有时候起源于一些意想不到的发现、并且通常需要通过很多不同的调查者参与而且发展缓慢。如果没有历史上的案例，那么这些概括就算被大众牢记，充其量也只是个口号而已。”

(AAAS 1989, p. 111)

第二个将科学史引入科学课堂的理由是：

“历史上一些科学尝试的片段对我们的文化传承而言具有非凡的意义。这些片段包括：伽利略（Galileo）在改变我们关于人类在宇宙中的位置这一观点的作用；牛顿（Newton）关于同一定律适用于天体和地球上的运动的证明；达尔文（Darwin）对生命形式的多样性和彼此之间的亲缘关系进行了长期观察，并最终推导出生命产生的机制；莱尔（Lyell）对地球令人难以置信的年龄的细心记录；以及巴斯德（Pasteur）对显微镜下才能观察到的微小生物引起的传染病

的认识。这些故事是整个西方文明发展中的里程碑。”

(AAAS 1989, p. 111)

这些评论反映了一个不容乐观的事实：科学史处于学科间隙中。可以论证的是，西方文明中最伟大的成就——那些毋庸置疑在很大程度上对世界历史的塑造起推动作用的部分通常未被纳入学校（或大学）的历史课程，因为这些科学史被认为过于技术化或太难，同时它们也未被纳入科学课程，因为科学史被认为是与科学不相关的。将HPS融入科学的计划可以部分改善这种情况，它可以鼓励学校历史系和科学系之间的合作，有助于实现综合教学目标。

《2061计划》用了一页半的文字讲述了伽利略及他在物理学方面的成就，即“地球不是宇宙的中心”。这在当时包含了处理复杂天文证据的各种方法：观察在亚里士多德（Aristotle）科学中的作用；数学模型在古代天文学中的地位；实在论与工具主义之间关于科学理论解释的传统；科学革命初期形而上学和自然科学间的相互作用；技术在新科学建立过程中的重要地位；修辞论证的使用奠定了伽利略在科学中的地位，神学考量在评价伽利略科学中的复杂作用。这些与其他历史事件一起，为教师、决策者和课程开发者提供了使用的素材。

这些建议中存在着一些哲学和教育学问题。正如第一章提到哲学的时候，我们提出了这样的问题：我们要教授科学的哪些本质？由此，在历史相关章节中，我们可以提出这样的问题：我们应该教授哪些人的科学史？是辉格党（Whigs）、内在论者、外在论者、理想主义者还是马克思主义者？——在推荐给教师的这本《2061计划》中对这些主要事件有不同的考量。科学史中存在着大量悬而未决的争议：400年后，对伽利略科学的审判仍然没有尘埃落定——这个说法通过梵蒂冈对伽利略事件的调查（Poupard 1987）以及其他一些研究得以证实¹⁸。报告认为，伽利略科学是西方文明发展的里程碑，但在充满多元文化的教室中，也可能需要认识和探索其他里程碑事件。由于科学史融入科学课程而产生的其他特殊的教育问题，将会在后续章节中进行讨论。

思维习惯

《面向全体美国人的科学》一书的最后一章“思维习惯”涉及价值、

态度、沟通、推理、操作技能等。这个话题提出了一个需要长期思考的问题，那就是科学是否有必要在实验室之外延伸？正如第二章中列出的那样，启蒙传统希望在探索自然的过程中学习科学，进而对人们如何思考社会和文化问题产生传感效应。这一期望由约翰·杜威提出，被写入印度宪法关于培养“科学素养”的条款中。与《2061计划》的哲学和历史部分相呼应，该书的最后一章也为教育研究者提供了与历史学家、哲学家和心理学家一起工作的机会，从而充实和捍卫“科学的思维习惯”的相关特征¹⁹。除了这个任务，这一章还对一个古老的问题进行了讨论，即：一个受过教育的人应该具备哪些素质？教育远远不仅是科学指导，甚至不仅仅是各个学科的指导。诚然，教师需要给学生提供上述这些教学指导，但教师也应该知道教育的目标是宽泛的，他们必须为达成宽泛的教育目标开展本学科的教学。

《美国国家科学教育标准》

根据AAAS报告，美国国家研究委员会（National Research Council, NRC）于1996年首次颁布了《美国国家科学教育标准》（NRC 1996）。他们认识到哲学和历史知识在科学教学中的中心地位，例如，文件提出学生应该知道：

- 科学是如何帮助文化发展的（NRC 1996, p. 21）；
- 技术和科学是紧密相关的：一个独立的问题既有与科学相关的一面，又有与技术相关的一面（NRC 1996, p. 24）；
- 课程往往由不同的学科主题整合而来，同时也由不同的学校科目整合而来——比如科学和数学、科学和语言艺术，或者科学和历史（NRC 1996, p. 23）；
- 科学素养还包括对科学本质、科学事业和科学在社会和个人生活中的作用的理解（NRC 1996, p. 21）；
- 一个好的科学教师怎样才能具备所有学科的知识，以及对自己所教学科的深入理解（NRC 1996, p. 60）；
- 追溯科学史，我们可以发现，科学创新者想要打破自己所处时代已被人们接受且习以为常的结论是一件多么困难的事情（NRC 1996, p. 171）；
- 社会议题和挑战如何影响科学和技术的进步（NRC 1996, p. 199）；

- 如果数学教师能够使用科学案例与科学方法，那么学生对两个学科的理解水平都会得到提高（NRC 1996, p. 218）。

如果没有那些既关注HPS又有能力的教师，那么这些对科学课堂的美好展望将无法达成。美国培养科学教师的专业协会——科学教师教育协会已经认识到了这个问题并且在它的建议书中写道：“标准1(d)：作为科学教师培训者应该具备高于美国教育改革文件中要求的对科学哲学、科学社会学以及科学史所具有的理解水平”（Lederman *et al.* 1997, p. 236）。

《下一代科学教育标准》

在过去的三年中，美国逐步开发了一个新的国家科学教育标准文件——《下一代科学教育标准》（Next Generation Science Standards, NGSS）（NRC 2012, 2013）²⁰。文件提到：

“促使这个标准制定的动力是由于人们认识到：虽然现有的K-12年级关于科学内容的国家文件（开发于20世纪90年代早期到中期）是加强科学教育的重要环节，但仍有很大的改进空间。不仅科学在进步，在实施以标准为基础的教育改革的十年中，教育界也有了重大的经验教训。关于科学学习和教学的新研究不断出现，这些研究可以帮助修订标准并振兴科学教育。”

（NRC 2012, p. ix）

NGSS整合“美国现有国家文件”，并以这些文件为基础，但它包含了一个新特点，即有意识地将科学学习与工程学和科学实践相结合，并从小学阶段开始就让学生在这些方面进行积累和进阶。这些方面被视为与“美国现有国家文件”不同。如前文所述，经过20年的咨询和试验，美国国家研究委员会在众人期待的《K-12科学教育框架》（A Framework for K-12 Science Education）中写道：

“认知知识是关于建构和价值的知识，是科学内在的内容。例如，学生需要理解观察、假设、推理、模型、理论或主张意味着什么，并且能够区分这些内容。”

（NRC 2012, p. 79）

这些话让我们认识到在课堂和课程中认识HPS是非常必要的。如果学生

需要知道和理解“观察、假设、推理、模型、理论或主张意味着什么，并且能够区分它们”，那么教师必须先知道这些内容是什么，并且能够激发学生对这些内容的兴趣。既然如此，一个更直接的问题是：教师从哪里获得这些知识？HPS如何融入职前和在职教师教育？这些问题将会在第十二章中得到解答。

英国科学课程改革

自然哲学在18世纪中期进入英国学校²¹。到19世纪中期，“日常生活中的科学”课程在小学已经十分普遍（Jenkins 1979）。传教士查尔斯·梅奥（Charles Mayo）和理查德·道斯（Richard Dawes）的工作是非常具有影响力的。毫不意外，出于人们对佩利（Paley）《证据》（The Evidences）的热情，许多日常生活中的科学以及自然研究都被用于促进一些宗教观的发展，例如创造、设计和天意。然而，宗教带来的振奋并没有将科学从“下层阶级接受过多的教育会变得危险和过于批判”这一思想中解放出来。1862年颁布的《英国课程修订准则》基本上已经将所有科学教学的内容移出公立小学。1864年，克拉伦登委员会（Clarendon Commission）赞同古典文学研究的重要性，但是同时也感叹在上层阶级教育中科学研究的缺乏。1867年，英国科学促进会（British Association for the Advancement of Science, BAAS）发挥其影响力，使得科学在课程中得以恢复和重建。托马斯·赫胥黎在南伦敦工人学院（South London Working Men's College）的开幕式上发表了具有影响力的演讲《常识教育；何处发现？》（Huxley 1868/1964），该演讲主要关注科学在教育中的重要性，嘲讽将科学移出现代课程的做法。哲学家乔德（C.E.M. Joad）作为赫胥黎时代的典型代表讽刺道：

“我于1910年从公立学校毕业，成为一个年轻聪明的野蛮人……我对物理科学的了解仅仅限于知道气味。我从来没有进过实验室，也不知道元素或化合物是什么。我对生物学同样一无所知。我隐约意识到《创世纪》第一章并非真实的，但是我不知道为什么。进化论对我来说仅仅是个名词，我也从来没有听说过达尔文。”

（Joad 1935, p. 9）

亨利·阿姆斯特朗和启发式教学法

世纪交替之时，伦敦国王学院的化学教授亨利·阿姆斯特朗（1848—1937）²²发动了一场讨伐枯燥的、书面的、说教式的教学方法的改革运动。这场运动盛行于各大科学课堂，事实上最终影响了所有课堂。阿姆斯特朗谈到学校的教学方法时提到：

“我可以毫不犹豫地，现如今绝大多数学校教授的所谓科学，尤其是被检查员要求学习的科学，不仅毫无价值，而且非常有害。”

（Armstrong 1903, p. 170）

与说教式的方法相比，阿姆斯特朗提倡启发式教学法（或者宽泛地称为发现式教学法），这种方法的特征是：

“启发式教学法尽可能将学生放在发现者的位置上，这种方法鼓励学生去发现而不仅仅通过老师的讲解了解事物。我们没有必要在教育中证明这种策略是正确的……发现与发明是天赐的特权，在某种意义上它被赐予所有人在日常生活中使用。因此通过教育了解关于发现的游戏规则，以及学会巧妙地应用它是十分重要的。”

（Armstrong 1903, p. 236）

阿姆斯特朗的观点不同于“无中生有的发现”或者“鲁滨逊漂流”式的观点，这个观点得到了发现式学习爱好者的拥护。尽可能将学生放在发现者的位置上意味着学生必须具备概念、技术、工具和计算能力等方面的储备——这些内容也是作为发现者确实应当具备的。阿姆斯特朗提到：

“毋庸赘述，我们并不期待年轻的学者只通过自己来发现世界的一切事物；但是我们必须将事实呈现给他们。由此，获得结果的过程就会变得足够清晰，也可以清晰地推导出基于事实得到结论的方法。”

（Armstrong 1903, p. 255）

当时，阿姆斯特朗认为，“发现”需要有教师进行引导；教师需要将概念、方法和方法论的知识传递给学生；教师引导得越多、越好，学生学习得就越多、越好。

阿姆斯特朗还认为启发式教学法应该是历史性的。关于这一点，他认同1884年米克尔约翰（Meiklejohn）的一篇文章，其中提到：

“这种观点有其历史性的一面；人们会发现，个人可以遵循的最好路径和最真实的方法，就是那些在过去已经使用过且被整个民族遵循的研究路径和方法。”

（Armstrong 1903, p. 237）

因此，对阿姆斯特朗来说，发现式学习法强调学生活动和个体推理，但是这些活动都是在教师创设的情境下进行的，而这些情境则是按照科学的历史发展路径创设的。

阿姆斯特朗改革运动的结果喜忧参半：运动既取得了一些胜利，也有很多失败；有了一些改变，仍有很多东西无法动摇。尽管如此，他开启了英国科学教育的新传统，那就是强调探究式教学、历史研究、学生活动和调查研究。这一传统的命运在过去的一个世纪中跌宕起伏。基于不同的时期、不同的人，阿姆斯特朗观点的不同方面会得到重视：探究式学习可以与历史无关；实践工作可以说是说教式的，并被归纳为照本宣科的模式；历史研究是技术统治的科学中的甜味剂。埃德加·詹金斯（Edgar Jenkins）总结说：

“尽管科学教学中的启发式教学法如同月食般虚无缥缈，然而阿姆斯特朗的许多观点仍然持续影响着学校的科学教育。强调实践性实验教学、相信动手实践的重要性成为科学教育的固有特征。1937年阿姆斯特朗去世，他的支持者在科学课程改革中吸纳了他的观点：科学可以通过启发学生探究科学的奥秘和方法，为通识教育作出最大的贡献。”

（Jenkins 1979, p. 52）

两次世界大战期间

在两次世界大战期间，融入HPS的科学教育无论在理论上还是实践上都获得了很多突出的成果。其中三位有突出贡献的人是：费德里克·韦斯塔韦（Federick Westaway）（1864—1946）、霍姆亚德（E.J. Holmyard）（1891—1959）和约翰·布拉德利（John Bradley）。

费德里克·韦斯塔韦是20世纪20年代英国“王室教育督察员”之一，撰写了大量关于科学史和科学哲学的书籍²³。在其中一本广泛使用的教师培训教科书中，他描述一位成功的科学教师应该是这样的：

“了解自己所教的学科……广泛阅读其他科学分支的书籍……知道如何上课……能清晰地表达自己……善于管理……在课堂演示和实验室中都具备丰富的经验……不折不扣的逻辑学家……某种程度上的哲学家……可以和学生坐在一起讨论个人见解、生活，以及伽利略、牛顿、法拉第和达尔文这些天才的研究工作的历史学家。除此之外，他还是位热心人，对自己独特的工作充满信心。”

(Westaway 1929, p. 3)

韦斯塔韦想知道，90多年的教育研究和争论是否完美诠释了“一名好的科学教师”所应具备的品质。

霍姆亚德是另外一位在两次世界大战期间对英国科学教育有显著影响的人物。和韦斯塔韦一样，他是一位科学教师，同时也致力于科学史发展，是很多教科书的编写者²⁴。他认为：

“我相信，当我们在学校讲授化学课的时候，历史方法不是从几个同样好的教学方法中选出来的一个：它是高效产出教学成果的唯一方法，我们有特权和义务立刻达成该目标。”

(Holmyard 1924, p. 229)

在其他文章中，他反对仅仅从“功利主义的观点”教授科学，他说科学应该被认为是最伟大的人文学科(Holmyard 1922)。

英国赫尔大学的约翰·布拉德利，是阿姆斯特朗启发式教学法最具代表性的人物之一²⁵。他充满热情地认为化学教学应当让学生爱上化学：

“爱上化学是学习化学过程中真正正确的事情；并且它是化学教师唯一需要知道的教育心理学。”

(Bradley 1964, p. 364)

他是恩斯特·马赫的崇拜者并撰写过关于马赫科学哲学的重要书籍(Bradley 1971)。布拉德利支持马赫理论工具化的观点，认为理论的探讨应该禁止儿童参与，且在最后一学年之前不能让孩子们接触它。他颇有文采地

说道：“这个国家的年轻人满怀希望地来到学校寻求‘经验的面包’，我们却给予他们‘原子模型的石头’”（Bradley 1964, p. 366）。

布拉德利围绕著名的“铜问题(氧化)”设立了一门介绍性的化学课程，在该课程开始时，学生加热铜并观察到它出现两层颜色——猩红色的内层和黑色的外层。课堂从这里开始的，教师鼓励学生提出发生这种现象的原因并进行检验，询问学生铜在加热的过程中有无质量变化以及变化的原因，设计实验在没有空气的情况下加热铜，对氧气进行探究，了解还原问题，等等。所有这些都是低技术含量的教学方法。他坚决反对席卷美国以及绝大多数西方世界且在1957年以后仍然占据主导地位的“后人造卫星美国国家科学基金课程教育”。他写道：

“从遥远国度(美国)向祖国运回浓墨重彩的原子模型和纯粹的阿姆斯特朗教学理念，化学教学其实不用花如此大价钱就可以得到极大改善。这笔钱确实可以节省下来，因为硫酸要比模型的模型的模型便宜得多。”

(Bradley 1964, p. 366)

纳菲尔德科学课程

到20世纪60年代，英国学生的科学成绩水平和参与度呈现出令人担忧的状况。对这种担忧最主要的回应是纳菲尔德科学课程。正如美国国家科学基金课程一样，许多纳菲尔德课程鼓励使用发现式学习法和探究教学法。纳菲尔德课程方案是在《普洛登报告》(Plowden Report)时期(1967年)开发形成的，报告建议英国小学采用以孩子为中心的教学法。纳菲尔德课程方案使阿姆斯特朗传统中的探究部分得以复活，却很大程度上忽略了历史维度的内容。

和美国国家科学基金课程一样，纳菲尔德课程对待科学方法也持有归纳法优先的观点(Stevens 1978)。这在《四年级物理教师指南》中可以看到，指南中探讨了牛顿第二定律，并给出了如下教学建议：

“应该让学生自己从图表中得出结论。尽管对教师来说，直接给出确切的结论更便捷，但这是没有价值的。学生自己从图表的斜率中(学生未被告知要观察斜率)得到的结论将会成为他们自己的

物理学大发现，保留在他们的记忆当中——特别是当我们告诉学生，他们发现了牛顿运动定律的部分内容的时候。”

(Harris & Taylor 1983, p. 285)

《三年级物理教师指南》中写道：“学生需要的是一些简单的一般性指导，我们只需告诉他们应该关注哪里，不用告诉他们要关注什么内容”(Harris & Taylor 1983, p. 278)。

20世纪60年代和70年代，纳菲尔德课程在英国学校科学教学中占据主导地位。正如美国一样，这个课程希望通过学生参与科学发现来培养“小科学家”。这种方法带来的一些问题也很快浮出水面。英国科学教育协会(Association for Science Education, ASE)在1963年《大学毕业科学教师培训》中强调，一个显著的问题就是很多教师不理解，或对科学的本质不感兴趣。对于指导教师，它提到：“通过培训，他们最终能够发展科学的思维和行为，但却缺乏对科学的本质和科学目标的理解”(ASE 1963, p. 13)。

情境教学与科学—技术—社会(STS)科学

在纳菲尔德课程被采纳后的十年间，对该课程持反对意见的呼声越来越高。1976年，社会学家迈克尔·杨(Michael Young)注意到：“尽管十年间关于课程创新的投入是前所未有的，但是学校科学仍然持续处于危机之中”(Young 1976, p. 47)。英国科学教育协会在1979年的报告《科学教育的可选方案》中提倡，英国科学教育应面向全体小于16岁的学生，并提到这样的课程应该“包含科学专业性和通识性两方面的合理平衡”，并且应该“作为一种文化活动映射科学”。在随后的报告《通过科学的教育》(1981年)中，科学教学作为一种文化活动被描述为：

“更普遍的科学知识和文化追求应当考虑历史、哲学和科学活动的社会意义，从而进一步引导人们理解科学和技术对社会以及观念世界的贡献。”

(ASE 1981)

ASE在其设立的“社会中的科学”项目中认识到科学史和科学哲学的重要性。项目还有一本关于该主题的阅读物。

英国国家课程

《英国教育改革法案》(1988年)的提出是为了在英格兰(不是苏格兰、威尔士或北爱尔兰)设立国家课程,以取代五花八门的大学入学课程、地方当局教育课程和其他典型的英国中学教育考试和课程。英国国家课程委员会(National Curriculum Council, NCC)建议,在面向5至16岁学生的所有课程中,科学课程应占据20%的比重。英国国家课程委员会的第一份报告《英国国家课程中的科学》于1988年发布(NCC 1988),并于1991年进行修订(NCC 1991)。1988年的原始报告对HPS给予了高度重视,对HPS目标细节的描绘十分清晰——HPS倡导者的梦想实现了²⁶。

如果所有HPS的倡导者都能够清醒地参与科学教学,那么教育和政治在国家课程中争取历史与哲学的地位的研究都将是有意义的²⁷。科学课程的一个重要特征是大约5%的课程涉及HPS的内容。这也是第一份报告中十七个“成就目标”中的最后一个目标。英国国家课程委员会在其第一份报告的开始就关注了这个领域,报告写道:

“课程关注的是科学的本质、科学史以及科学证据的本质。委员会认识到,学校的科学教育并没有给这方面内容应有的地位……鉴于这个目标对教师而言可能还相对陌生,(课程)针对每个级别都给出了一些例子用于阐述该学习领域。”

(NCC 1988, p. 21)

当说到第十七个目标时,委员会阐述了其设计意图:

“学生应该发展他们的知识,用科学观点随时间改变的方式来理解科学,以及这些观点的本质和它们被赋予的用法是如何被当时的社会、道德、精神和文化环境影响的。”

(NCC 1988, p. 113)

尽管在第一份报告中,科学史和科学哲学作为一个独立的目标被单独列出,英国国家课程委员会仍然希望这个主题可以与其他目标共同实现;这一点在第二份报告中得以阐明。

针对11—14岁学生的研究项目,第一份报告中提到:学生在调研某

位著名科学家的生活或科学中某个重要观点的形成历程时，应该获得如下机会：

- 研究其他历史时期用来解释自然现象的观点和理论；
- 将这些观点和理论与现在对科学技术的理解与知识相联系；
- 将自己的理解与这些观点和概念进行比较，并将它们与有效的证据联系起来。

对于14—16岁的学生而言，委员会建议学生除继续上述课程的学习外，还应当：

- 能够区分哪些论点和论据是基于科学数据和证据的，哪些不是；
- 思考特定的科学观点或理论发展如何与历史、文化（包括精神道德）、环境相联系；
- 研究科学论辩的范例，以及科学观点发生改变的方式（NCC 1988, p. 113）。

除了提供研究项目，国家课程委员会也列出了学生预期要达到的能力水平。报告中提到，学生应该：

- 在四年级时，能够讲述一些科学发展的故事，例如在医药、农业、工业或工程学的环境下，描述新的观点、调查或发明创造，以及其中主要科学家的生活和他们所处的时代。
- 在七年级时，能够对已接受的理论或解释的变化做出历史性的分析，能够对这种变化在人们生理、社会、精神和道德生活上产生的影响表示理解。例如，了解生态平衡并对环境表示关注、观察木星卫星的运动以及了解伽利略与教会的争端。
- 在十年级时，能够对来自相关文献研究的一些主题发表的不同的科学观点表示理解，不论是过去的还是当下的（NCC 1988, p. 114-115）。

英国国家课程委员会要求的水平“既定位于现实又对学生所有的能力领域提出了挑战”（NCC 1988, p. 117）。毫无疑问，委员会要求的这些水平是具有挑战性的，并且不只针对学生。它们的可行性取决于教师与HPS相关的知识和兴趣，进一步取决于HPS知识在教师学术构成中

占据的比例。现实性的比例还取决于考试体系的要求，因为不考的知识就不会被讲解²⁸。英国国家课程委员会在第一版的修订中取消了目标17，将其拆解融入了涉及实际工作和科学调查的目标1中。

英国国家课程的后续发展历史，尤其是“科学的本质(NOS)”的变化历程，由埃德加·詹金斯(2013)和詹姆斯·唐纳利(James Donnelly)进行了详细的阐述与讨论。他们评论道：

“我认为，与科学本质相关的课程重点不仅仅代表了不同主题的集合……这些领域代表了科学课程改革中最有潜力的部分，它不同于装扮或器乐。然而，如果没有连贯的、潜在的教育目标，这部分内容很可能一直处于边缘化的状态，很难得到进一步发展。”

(Donnelly 2001, p. 193)

清楚了解教育目标或者科学教育哲学的重要性是所有严肃的科学教育争论中反复出现的主题。不幸的是，教师未在这些内容上做好准备，并且这一部分正从教师教育中剥离出来，并逐渐淡出教师教育的基础课程。

英国科学课程展望

针对英格兰和威尔士，英国最近开发了新版的高水平科学本质教学选修课程《科学展望》(Swinbank & Taylor 2007)。该课程包括四个部分：

- 第一部分：研究科学史；
- 第二部分：讨论科学中存在的伦理问题；
- 第三部分：关于科学的哲学思考；
- 第四部分：实施研究项目。

与该课程配套的教科书的首页写道：

“《科学展望》这门课程的设计目的是为了帮助人们解决与科学相关的历史、伦理和哲学问题。它不会给你提供简单的答案，但是会帮助你提高研究和论证的技能，分析别人的言论和文章，理清思路，并为你自身的观点提供充分的理由。”

(Swinbank & Taylor 2007, p.vii)

书中的哲学部分开篇用了16页的篇幅公正地概括了科学哲学中的标准问

题——NOS、归纳、可证伪性、范例、革命、真理、现实主义、相对主义，等等。更重要的是，书中随后介绍了“培养自身的科学哲学”这一主题，并提到：

“当你学习了一些关于科学哲学的核心观点和问题后，你就能够评价一些科学家看待科学的观点。这里的目标是把这些观点作为出发点，发展和支持你自身的想法。”

(Swinbank & Taylor 2007, p. 149)

对于所有将HPS融入课堂、课程和教师教育的建议而言，其中一个关键要素就是学习HPS不能仅仅像学习讲义一样，还要使用、发展和评价HPS。

2000年以后

在英国，一群卓越的科学教育工作者对英国的国家课程进行了反思，思考在千禧年最合适的科学教育形式，撰写了一份由十个建议构成的报告书。其中第六个建议提到：

“科学课程应该让年轻人了解一些重要的科学观点，即了解可靠的自然知识是如何获得或正在获得的。”

(Millar & Osborne 1998, p. 20)

在阐述这些建议的时候，作者提到，学生也应该熟悉一些阐释科学重要观点发展的故事：

- 科学解释远不是可用的数据本身，它不会简单地从数据中“显现”出来，而是要融入创造性的见解，例如，拉瓦锡(Lavoisier)和普里斯特利(Priestley)在理解燃烧这个问题时所做的努力；
- 许多科学解释是基于我们认为可能会发生的事情而形成的“模型”，而不是直接观察得到的；
- 新的观点常常会受到来自他人或组织的反对，有时候是庞大的社会、政治或宗教信仰（例如，哥白尼、伽利略和太阳系）；
- 任何被报道的科学发现或提出的解释，在作为科学知识被接受之前，必须受到来自同领域科学家的严格审查（例如，巴斯德关于免疫方面的工作）(Millar & Osborne 1998, pp. 21-22)。

科学—技术—社会课程

考虑到HPS对课程发展的贡献和它在科学教育中引发的争议,认识科学—技术—社会(STS)课程的发展变迁过程是很有用的。两种教育理念传统之间有很多联系,应该全面地开发和利用²⁹。

现代(20世纪80年代后期)STS教育起源于20世纪60年代以学科为基础的课程改革的失败。很多人关注到逃离科学的现状,人们需要更实用和更相关的科学课程:课程应该能够吸引学生的注意,让他们了解生活中各种各样的技术设备,了解可以驱动现代经济发展的交通业和制造业。就这一点而言,STS课程采纳了20世纪30年代进步主义的一个主要原则——使教育和学生的生活相关联,并延续了两次世界大战期间得到美国和英国普遍认可的日常生活中的科学传统。

STS教育运动吸收了来自STS学术研究领域的知识灵感,并得到了它的支持。从20世纪70年代开始,它从大学正统的HPS研究中分离出来,形成了自己的学术团体——科学社会学研究团体(Society for the Social Studies of Science, 4S),并创办了自己的“内部”杂志《科学社会学研究》(Social Studies of Science)³⁰。而20世纪70年代后期创立的“国际科学和技术教育组织(International Organisation of Science and Technology Education, IOSTE)”则体现了STS课程和研究在国际范围内的延伸³¹。

罗杰·拜比(Rodger Bybee)(1985, 1993)、保罗·德哈特·赫德(Paul DeHart Hurd)(1985)和罗伯特·耶格尔(Robert Yager)(1993, 1996)是美国STS科学教育领域三位著名的倡导者。美国科学教师协会(US National Science Teachers Association, NSTA)在其1971年的声明《为了20世纪70年代的学校科学教育》(NSTA 1971)中赞同科学中的STS导向。1985年NSTA的年鉴中提到了STS教育的基本原理和内容(Bybee 1985),而协会的出版物《科学、技术和社会运动》(Yager 1993)则回顾了这些原理和内容的实施。加拿大省的STS科学教育也取得了重大突破,格伦·爱根海特(Glen Aikenhead)可以看做是最重要的拥护者(Aikenhead 1994, 2000)³²。

在英格兰,STS教育得到了约翰·刘易斯(John Lewis)和琼·所罗门(Joan Solomon)的支持,并且在《社会中的科学和技术》(Science

and Technology in Society, SATIS) 和《社会背景下的科学》(Science in a Social Context, SISCON) 课程中得以体现。英国的 ASE 资金支持了两个课程项目, 分别是 1981 年的《科学和社会》课程 (ASE 1981) 和 1983 年的《社会背景下的科学》课程 (Solomon 1985)。后者受到大学 STS 教育的影响, 约翰·宰曼 (John Ziman) 的《关于科学和社会的教与学》成为教材的范本 (Ziman 1980)。

充满活力的 STS 教育传统展现的是社会性科学议题 (Socio-Scientific Issues, SSI) 运动, 该运动有意识地“超越了 STS”³³。这一运动承认关于伦理和政治的哲学讨论是不可避免的; 如果没有道德理论、政治理论和经济理论的参与, 人们将无法详细阐述社会正义的关注核心。教育的任务是要看到这些讨论避免了对学生的灌输和操纵, 避免让学生认为只要老师相信的就一定是正确的, 也要克服口号和当前文化风俗的浸入。这些警示也得到了具备良好历史和哲学背景的教师的支持。甚至那些关于教育和灌输之间差异的最浅薄的想法对 SSI 教学也具有重要价值。

很明显, 科学教育中 STS 与 HPS 这两个方向是互补的: 纯理论科学和应用科学是相互协调的; 技术和与技术相关的社会议题已经在历史上存在了一段时期, 且明确具有哲学和文化维度; 两者都应当被纳入优质教育的考虑之中。加拿大亚伯达省在 1990 年制定的 STS 教育分科指导文件《统一科学教育目标》(Alberta Education 1990) 中, 提出了一个在 STS 教育中持续紧张的问题, 那就是 STS 在多大程度上能够且应该独立于 HPS 教育之外? 亚伯达省的这个指导文件对科学本质的教学给出了明确的承诺, 坚持认为应当“教授那些由科学哲学家研究出来的概念, 用它们描述科学探索的本质, 以及科学知识的起源、局限和本质”。然而通常情况下, STS 的课堂教学实践却与 HPS 课程的描绘相去甚远。

探究式教学和发现式学习

从 20 世纪 60 年代至今, 美国、英国以及绝大多数其他国家的课程改革不仅仅旨在划定教学内容或者指定教学主题, 还关注培养学生的科学态度, 发展科学方法。教育改革者希望学生变得“懂科学”, 而不仅仅是“学习科学”。为了这个目的, “探究式学习”或“发现式学习”就成为美国 NSF 和英国纳菲尔德改革的一个显著特征。一位支持者提到: “所

有现代科学课程发展都强调将科学作为一门探究课程来讲授”(Sund & Trowbridge 1967, p. 22)³⁴。对探究式学习的评价是吸引人的,因为它为重要的教育和哲学问题——如概念习得、学习的社会依赖性等提供指导,但是更引人关注的是HPS在科学教育中的推进³⁵。

20世纪60年代的探究

20世纪60年代,有两位卓越的理论家分别提倡教学和学习中的探究和发现方法,他们分别是参与BSCS项目的芝加哥大学教育家约瑟夫·施瓦布³⁶以及哈佛大学认知心理学家杰罗姆·布鲁纳(Jerome S. Bruner)。施瓦布关于这个主题的第一本著作发表于1958年,他在1960年对其进行了详细论述,这些论述成为探究理论的经典(Schwab 1960)。1959年美国国家科学院(National Academy of Sciences)在马萨诸塞州科德角伍兹霍尔召开了一个35人工作坊,布鲁纳担任主管;该工作坊旨在调研一系列新课程体系,确认是否可以详细阐述学习和课程构建的基本原则³⁷。

布鲁纳的主要贡献是进行教育讨论,并且研究心理学上发生的“认知转向”。这种转向在很大程度上开始于他1956年的著作《思维的研究》。在当时,心理学被行为主义占领,而他所在的哈佛大学学系被“困在斯金纳的操作性条件反射和史蒂文的心理物理学之间”(Bruner 1983, p. 122)。无论认知转向在心理学系的发展有多领先,其在教育学系的发展是极其缓慢的,20世纪60年代,一些教育学系将成功完成鸽子训练实验作为获得教育学博士的先决条件。约瑟夫·诺瓦克(Joseph Novak)(1977)概述了行为主义与教育心理学之间挥之不去的鸿沟。布鲁纳也提出了对课堂、教师和教育实践的关注。当时,教育心理学家更倾向于凭借老鼠、鸽子、刺激物和强化程序来思考“学习理论”,并且仅在实验环境下思考人类学习。在这种环境下,布鲁纳将让·皮亚杰(Jean Piaget)的认知和以人为核心的观点引入了研究当中,并强调“结构”对学习的重要性。这与他提出的知识的“再生性能”相关联:

“很多时候,‘学习’是弄清楚如何用已知的知识超越当下所想。有许多方式可以做到:一些凭借直觉,一些则是常规的引申。不过它们都依赖于了解思考内容的‘结构’,即思考内容是如何整合在一起的。了解事物是如何整合在一起的相当于知道关于它的一千个事

实，这可以让你超越事实。”

(Bruner 1983, p. 183)

知识的物质客体与理论客体之间的区别是模糊不清的。而布鲁纳和施瓦布认为科学学习最重要的“学科结构”应该是指科学“理论客体的结构”：牛顿基本原理中相关联的定义和概念之间的结构、欧几里得原理中的几何结构、达尔文起源学说中进化论的结构、布朗斯特酸碱理论的结构或者板块构造学说理论中的结构。一旦掌握了这些结构，就可以进一步从原理中推导出定理，并可以对进化的中间物种或者新的氯化物的酸度进行预测，等等。但是这些结构不是初学者关注的对象，他们关注的是物质客体，例如陨石、三角形或植物类群。这里用到的“结构”给人两种完全不同的感觉：一种是客体与过程的结构；一种是学科的结构。树叶的结构是一件事，光合作用理论的结构则完全是另一件事。对待这两种不同的客体有两种不同的关注和操作模式：一种是动手操作；另一种则是在头脑中思考。阿里斯蒂德斯·巴尔塔斯 (Aristides Baltas) 也很好地指出了这一点：

“比如说，‘质点具有特定质量’这一概念并未构成苹果、行星和投射物的一般本质，而是物理学概念框架中的一个概念。这个概念与该系统中的其他概念相关联，并且恰好归因于这样的真实客体，所以它们的运动才可以纳入到系统中作为一个整体。”

(Baltas 1988, p. 216)

1961年，布鲁纳在《哈佛大学教育评论》中《发现的行为》一文中对发现式学习进行了推广。随着发现式学习的推广，对它的曲解也随之而来。1966年，布鲁纳写了一篇后续文章《发现中的一些原理》，表明他远离以发现式学习之名吹捧过度教育的立场。他表示“我都不敢确定什么是发现了”(Bruner 1974, p. 84)，并且抱怨道，“发现被一些教育研究者利用，好像发现本身就具有很高的价值，不管它是针对什么或者在什么领域内发现”(Bruner 1974, p. 15)。这是一个十分重要的认识，应当引起那些认为“科学是有趣的”或者让学生“做一天科学家”的天真的倡导者的注意。

发现式学习旨在促进思考、推理能力以及独立研究的能力。正如一

位倡导者所言：

“它给予学生更多机会去思考和学习如何批判性地思考。作为‘探究者’，学生学习如何独立，如何比较、分析和整合知识，以发展自己的心智和创造能力。”

(Sund & Trowbridge 1967, p. 22)

更具体地说，发现式学习作为一种帮助学生获取科学探究本质的方法受到欢迎。学生应该了解科学发现的本质，并自己进行推理，参与到探究活动中。杰罗姆·布鲁纳在他的经典著作《教育过程》中乐观地写道：“学习物理的学生是物理学家”（Bruner 1960, p. 14），而他对“是”这个词的强调，在某种程度上已经不是一种主张，而是将其定位于已经膨胀且夸张的教育行列——难道学习钢琴的人就是钢琴家吗？许多其他的教科书和课程也采用了这个主题让学生进行探究，由此形成了“做一天科学家”的说法（Harlen 1996）。

关于发现式学习理论和实践的文章还有很多。在这个主题下召开了很多会议，其中一次吸引了许多该领域的著名评论家（Shulman & Keislar 1966）。该会议的召集人提出了一个重要问题：

“通过对大量文献综述的审查以及对会议意见的考察，得出这个不可避免的结论：上述问题依旧没有合适的解决方案，因为隐含的实验处理，即发现式方法，对有意义的实验调查而言，是非常模糊且不精确的。”

(Shulman & Keislar 1966, p. 191)

一个主要研究表明，相对于其他课程而言，NSF课程可以帮助美国学生取得更好的学业成绩（Shymansky *et al.* 1990），但这个研究主要针对的是课程而不是教学法。这可能是由于课程越好，使用它的教师就越有创造力和热情，相关的辅助材料也就越丰富等等。学业表现很可能与我们假定的探究方法没有关系。而奇怪的是，这项庞大的研究在这个关键问题上却保持沉默。50年后，这个问题依然困扰着我们对现代建构主义和基于探究的教学法的评价。一般说来，对从教育研究中提炼结论而言，设计不佳、霍桑效应（Hawthorne effects）、缺乏对照组、甚至只有

对照组——这些都是值得我们对结论进行仔细思考的重要原因(Shavelson & Towne 2002)。

从某种层面来说,探究式学习是非常具有吸引力的。让学生通过实验和操作来发现什么材料能被磁铁吸引,什么材料不能被磁铁吸引,什么使两个沙漏的清空速度不同,而不是由教师直接告诉学生,这对机械式学习或基于教科书学习来说是一种进步。布鲁纳认为,发现式学习法的优势在于促进了知识的增长,包含了从外在奖励到内在奖励的转变,教师教授启发式学习法,并成为记忆过程的助推器(Bruner 1961)。

不过,探究教学的理论预期并不总能实现。通过对美国20世纪60年代基于探究的项目和课程的全面回顾可以得出:尽管有新的课程体系、训练有素的教师以及改进的教学设备,学生成为探究者这一乐观预期也很难实现(Welch *et al.* 1981, p. 33)。

评论者认为这个问题在很大程度上与教师有关:

“科学知识是教师在大学中获得的,不是教师通过探究过程获得的……学生推测和批判性思维的价值经常被忽略,有时还会被嘲笑。”

(Welch *et al.* 1981, pp. 38-39)

其他的评论者则证明,参与NSF教师项目的教师,他们的课堂已经对学生的表现产生了积极的影响(Shymansky *et al.* 1990)。然而,人们却无法分辨这个结果在多大程度上是霍桑效应造成的,多大程度上是由于教师投入更多的热情和更大的能力造成的。

20世纪60年代和70年代的哲学家和心理学家详细列出了探究式教学基本假设中存在的诸多缺陷。他们指出,发现式学习中存在的问题以及预期和实际情况间的差距,并不仅仅是金钱和更多资源就可以解决的“实践性”问题,这些问题是理论性问题³⁸。同样的问题也出现在当代建构主义和探究式学习中。一位评论家提出在科学背景或科学认识论中发现式学习存在的缺陷,这些缺陷遍布整个课程:

“在这个过程中,一个基本缺点是一个显而易见的假定,即科学是一种获得常识的活动,并且适当的‘技巧’是进行生产工作的首要成分。人们似乎没有明确地认识到概念体系的重要作用,在这个体系中,科学家和孩子们进行操作并与该体系紧密相连。对物质世

界的基本观点需要通过多种方式精心培养。”

(J. Myron Atkin, in Glass 1970, p. 20)

和布鲁纳一起,大卫·奥苏伯尔(David Ausubel)将“认知转向”引入教育学(Ausubel 1968),他对整个NSF课程的尝试和课程基础持怀疑态度。对于课程的这些尝试,他发现:“尽管课程一直坚持发现式学习原则,但是各种课程至今为止都没有获得任何支持发现式学习方法的研究证据”(Ausubel 1964/1969, p. 110)。对于课程理论基础而言,他认为:

“实际上,短暂的反思能够说服每一个人,一个人真正知道并且深刻理解的绝大部分内容,其实都是由其他人的发现构成的,并用有意义的方式传递给他。”

(Ausubel 1964/1969, p. 98)

在发现式学习中,“发现”的真正含义是一个长久以来一直存在的问题。这是关于概念认识论方面不可回避的一个问题。并不是学生考虑、遇到或认同的每一个命题都能称作“发现”,只有那些真实的信念或者主张才是发现。有人可能提出“ $2 + 2 = 5$ ”或“莫斯科是芬兰的首都”,这些都不是发现,因为它们都是错误的。此外,由于关于真假的判断是公共的而不是私人的,因此不能由单独的个体或团体发现。不是所有的团队合在一起都能产生美妙的音乐。不是所有的“声音”组合起来都是“音乐”;只有那些恰到好处的声音才能称为“音乐”。说所有的声音都是音乐意味着需要引入其他一些术语,即“声音+”用来挑选我们所定义的音乐。声音是音乐的必要不充分条件。在实践中,将会有一些外部权威从发现中审核正确信念。最后,发出声音还不足以学好音乐,对于探究和科学而言同样如此。

进一步说,对于“发现”这个概念而言,有一个不可避免的过程:发现意味着个人或团体不得不进行发现,这必须要有参与和意向的要素。而且,在教育中,这个过程需要一些合理的元素或者至少是好的理由参与进来。如果一个学生不理解其阐述的命题或主张,那么即使这个命题或主张是真的,他们也不能发现它;学生可能已经学到了它,但不是发现了它。类似地,如果他们理解这个命题,但是被迫相信或被迫提出的这个命题,那么也不能称为发现。如果一个学生发现了“ $2 + 2 = 4$ ”,当

问他为什么的时候，学生说“4”是最喜欢的数字，那么尽管这个答案是正确的，它在教育意义上也不能被称为发现。在教育中，“发现”的意义更贴近于“找出来”。这是一个与合理发现相联系的过程，且无论这个过程是不是由哲学家完成的，它在本质上都是哲学层面的努力过程。

当代探究项目

在美国，《美国国家科学教育标准》明确指出要致力于探究式教学，其教师指南的标题是《探究和美国国家科学教育标准：教与学的指南》（NRC 2000）。指南中充满信心地提到：

“探究是教学标准的核心部分。例如，标准认为科学教师要‘规划一个基于探究的科学项目’，‘关注和支持探究’，并‘鼓励发展、模仿科学探究的技能。’”

（NRC 2000, p. 21）

许多人将探究和建构主义关联起来：

“因此，美国的当代教育标准要求教师拥有学习和教学的社会建构主义认识观。在这个观念中，科学是了解自然现象的一种方式，教学则用来促进学生通过科学探究进行学习……特别是，改革强调通过强化社会建构主义教学法来促进教师教育。”

（Kang 2008, p. 478）

所有欧盟国家的科学和数学“创新”项目都是以探究式教学的效能作为前提的，或是挂上基于探究的科学教育（enquiry-based science education, EBSE）的标签。现在，至少有六个主要的EBSE项目获得了欧盟将近一亿欧元的基金支持。这些项目包括：PRIMUS、Pollen、Sinus-Transfer和Fibonacci。参与这些项目的国家超过20个，包括数千所学校、上百位教师和数千名学生。只Fibonacci一个项目就有60所大学、3,000位教师和45,000名学生参与³⁹。2007年《罗卡尔报告》总结了这些基于探究的项目的基本原则和实施过程，它提到“六年间共六千万欧元的财政预算用来支持这个政策并不是没有道理的”：

“应该通过新形式的教学法来发展科学教育，积极推进和支持基

于探究的教学法融入学校，并促进教师系统的发展。”

(Rocard 2007, p. 17)

《科学》杂志的一篇社论报道称，上述提到的六千万欧元仅仅是“种子基金”：

“在这四个国家中，这种‘将科学作为探究’的教学法鼓励学生（5-16岁）发展好奇心、观察和逻辑推理的能力。由于和科学家保持联系，建立了新的评价体系和专业发展方法，教师获得了更多的自信，并对科学有了更好的理解。”

(Léna 2009, p. 501)

我们无法得知这种值得称赞的“更多的自信和更好的理解”究竟在多大程度上融入探究教学中，也无法得知后者自身在多大程度上增加了学生参与科学的程度，这些都要求更精细可控的教育学研究，而目前人们却很少开展这种研究。

PRIMAS项目(www.primas-project.eu)包括了塞浦路斯、丹麦、德国、匈牙利、马耳他、荷兰、挪威、罗马尼亚、斯洛伐克、西班牙、瑞士和英国等12个欧洲国家。其发表的项目报告中提到：

“为进一步推进基于探究的学习以及探究式学习法在数学和科学中的实施，来自12个国家的14所大学共同努力。PRIMAS为教师在课堂上直接使用基于探究的教学法和教师的职业发展提供了材料。”

(PRIMAS 2013, p. 1)

更值得深思的是，PRIMAS项目网站这样提到：

“一个普遍存在的误解是，人们将基于探究的学习(inquiry-based learning, IBL)与在课堂上做实验或者进行一些实践工作相混淆。如果用于开展实验的知识由教师或者类似菜单的任务形式提供，这个实验就很难被称为基于探究的实验。探究的程度取决于人们所处情境的开放度以及教师和学生之间的任务分配。”

(www.primas-project.eu/artikel/en/1302/

[What+exactly+does+inquiry-based+learning+mean/view.do?lang=en](http://www.primas-project.eu/artikel/en/1302/What+exactly+does+inquiry-based+learning+mean/view.do?lang=en))

也就是说，这个项目致力于这样的观点——“指导越少，探究越好”。那么接下来的问题是更好的探究（按此种定义）是否可以导致更好的学习，然而压倒性的证据表明并非如此。学习是需要指导的，而给予的指导越多，学习就可以越好地进行。

现在美国和欧洲的探究项目都没有过多关注50年前的评论。在美国，《教师指南》200页精美的页面和150个参考文献都没有提及上面列出的任何对发现式学习和探究式学习的教育学、心理学或哲学评论；没有提到布鲁纳、奥苏伯尔、斯特赖克（Strike）、迪尔登（Dearden）或其他任何著名的评论家以及他们的评论。文件中也没有提及对“最低限度教学指导”的广泛评论（Kirschner *et al.* 2006, Mayer 2004）。后者将会在第八章讨论建构主义教学方法的有效性时出现。而现在，从一个主要研究中我们就可以再现这一结论：

“纯粹的发现式学习在20世纪60年代没有获得成功，在70年代没有成功，在80年代也没有成功。经过这三次失败，我们几乎没有理由相信纯粹的发现式学习可以在当代获得成功。”

（Mayer 2004, p. 19）

将全部目光聚焦在教学法上并将其作为科学教育中解决问题的方法显然是错误的。既然问题很多，那么解决的方案也很多。妄图在纯粹的发现式学习法或者最低限度指导的探究模式中寻找“圣杯”会将教师及其他相关人员引入歧途。作为一个全覆盖式的理想，它提出了一个教师不可能达到的标准，并且没有对课程内容或探究定义做出任何贡献。

20世纪60年代早期，詹姆斯·卢瑟福（James Rutherford）进行了一个具有先见之明的观察，这个观察在当时未引起关注，并且在以后的时间里仍然被忽视：

“科学教师必须要知道探究究竟是如何在科学中开展的。科学教师必须获得他们所教授的科学史和科学哲学的全部基础，否则这种理解将是不全面的。在这种情况下，我们可以预见，教师将科学教学作为探究这件事情的进展不会很大。”

（Rutherford 1964, p. 84）

本书认同卢瑟福的这一声明，即教师对HPS的熟悉程度对科学教学的提升非常关键。对HPS的熟悉将帮助老师避免许多与发现式学习相关的幼稚的主张与观点，例如：科学方法是归纳得来的；观察并不依赖于对概念的理解；混淆真正的客体会揭示应用于那些客体的科学理论的结构。

结论

基于20世纪60年代的课程改革和20世纪80年代的科学教育危机的经验教训，以及对学生如何学习科学更好的理解，大多数国家的课程项目目前都尝试在科学教学中融入以下观点：

- 教学内容应适当减少，但这些内容的教授和评价应该鼓励学生理解而不是进行记忆和机械式学习。
- 无论是否教授完整的STS课程，学生都应该理解科学、技术和社会之间的一些相互联系。
- 学生需要理解科学的文化维度，理解科学的历史和哲学、道德和宗教的含义。科学的课程既应该包括一些关于科学的学习，也应该包括关于科学本质的学习。
- 只有当课程变革与广泛的教育系统变革——例如教师教育和再教育项目、资金、评价计划和教科书等——相结合的时候，课程变革才会有效。

这些观点并不是完全没有问题且内在矛盾的。事实是这样的：课程文件高估了HPS材料的数量和复杂程度，这些材料主要致力于科学教学在学校的传播。《2061计划》中提及的主题和第一版英国国家课程是非常复杂的，教师和学生应该意识到这些内容很少有简单的答案可循。对问题的兴趣以及对复杂性的理解都可以由教师尽可能地传递给大多数学生——如同教师向学生传递学科教学大纲和其他学科要求一样。尽管有适当的目标，HPS却从来没有成为教学中至关重要的部分。

课程发展和课堂教学需要考虑学生的心理准备。成熟的科学思维在皮亚杰思维过程——即感知运动阶段、前运算阶段、具体运算阶段和形式运算阶段中属于形式运算阶段，而这些思维过程在发展过程中属于后期。据估计，在美国绝大多数大一学生没有达到形式运算阶段的思维水平。一项研究显示，美国17岁群体中只有不到6%的人可以解决简单的代

数问题 (Cromer 1993, p. 26)。在英国,就读于综合学校的16岁群体中估计只有不到20%的人处于推理的形式运算阶段 (Black & Lucas 1993, p. 34)。这是科学教学最初被当做现象和具体知识进行教授的一个重要理由,也是对提升正式和抽象推理进行关注的理由。

关注科学HPS维度的教师也需要对心理发展的实际情况具有敏锐的洞察力。教师和课程材料的制定者需要在HPS领域寻找现象学材料的等价物。这些内容应当简单、具体并具有关注点。一系列大的问题如:科学的本质是什么?科学如何与宗教相关联?真有可能了解世界的知识吗?科学仅仅是社会的产物吗?这些问题都应该慢慢地得到解决。对这些问题进行有价值的讨论需要严谨的思考,以及对科学史、科学哲学特定部分有充足的基本知识。

对这些HPS领域的大问题过早关注可能会使智力活动削弱贬值。伴随着对复杂经济、政治和伦理问题规范的简单分析,这种情况在社会中屡有发生。令人失望的是,这种情况也发生在学校。学校鼓励学生对所有的事物发表观点,却缺乏对事物本身的知识。这样的教育实践从整体上导致知识的获取和长期思维的贬值。好的融入HPS的科学教学能够通过展示事物超出其表现的复杂性对抗这些自以为是的实践活动。

注释

1. 乔治·德波尔 (George DeBoer) (1991) 开创了科学教育中具有主导思想的历史。其他和科学教育史相关的人员是格拉斯 (Glass) (1970)、霍德森 (Hodson) (1987)、鲁道夫 (Rudolph) (2002, 2008) 以及华森 (Waring) (1979)。国家教育研究协会出版的临时年鉴是追踪美国科学教育史很好的资源。这包括第三版《自然研究》(1904)、第三十一版《教授科学的方案》(1932)、第四十六版《美国学校的科学教育》(1947) 和第五十九版《科学教育的再思考》(1960)。
2. 这个具有创意性的争论的一些内容可以在 Armstrong (1903)、Dewey (1910)、Huxley (1885/1964)、Mach (1886/1986) 和 Nunn (1907) 的著作中读到。
3. 关于这场世纪之交的争论可见 Mann (1912) 和 Woodhull (1910) 的著作。
4. 其他常用教科书的名字是:应用生物学, Bigelow & Bigelow, 1911; 公民生物学, Hunter, 1914; 实用生物学, Smallwood, Reveley & Bailey, 1916; 公民生物学, Hodge & Dawson, 1918; 生物学和人类福利, Peabody & Hunt, 1924。
5. 科学教育和科学哲学相结合的综述文献, 可以参见 Schulz (2014)。
6. 关于20世纪50年代危机的历史和伴随其发生的教育改革的内容, 可以在很多资料中找到。一些有用的如下: DeBoer (1991)、Jackson (1983)、Klopfer 和 Champagne (1990)、Raizen (1991)、Rudolph (2002) 以及 Welch (1979)。

7. 杰罗姆·布鲁纳 (Jerome Bruner) 谈论扎卡赖亚斯 (Zacharias) 时说道, “扎卡比任何人都更加积极地将人造卫星的冲击转变成课程改革运动, 而不是采取其他形式进行” (Bruner 1983, p. 180)。
8. 1963年, 在里约热内卢举办的物理学教学国际会议, 扎卡赖亚斯报告说该书已经被翻译成了西班牙语、葡萄牙语、希伯来语、日语、土耳其语、泰语、瑞典语、丹麦语、法语和挪威语, 并给人更多的期待 (Zacharias 1964, p. 68)。
9. 关于物理科学研究委员会背后的教育理论的讨论, 参考 Rudolph (2002, Chapter 5)。
10. 每一个课程的解释文件都发表在安德森 (Andersen) 的著作中 (1969, section 7)。
11. 在克洛普弗 (Klopfer) (1964) 的著作中可以找到关于这些案例研究的另一种评论。
12. 全国经济教育委员会的出版物受到了媒体的广泛报道。例如有标题为《美国学校可以培养出有科学素养的高中生吗?》和《民主可以使科学素养存在吗?》的文章 (Bauer 1992, p. 1)。
13. 美国国家教育委员会的优秀成员杰拉尔德·霍尔顿 (Gerald Holton) 的报告内容令人不安, 这些内容记录了美国教育中的“平庸潮流”, 并且包含了扭转该潮流的建议 (Holton 1986)。
14. 威廉·麦科马斯 (William McComas) 为这些发展提供了详细的历史介绍和评论。
15. 这个项目开始于1985年, 这一年哈雷彗星访问地球, 而2061年是哈雷彗星再次访问地球的时间。美国科学促进会认为科学教育在这段时间内会有改进。
16. 关于科学哲学划界争议的内容, 请参见Laudan (1983)、Mahner (2007) 和 Pennock (2011)。
17. 生物科学课程研究会发表了一系列关于HPS的文章, 帮助教师参与研究; 非常有用的一篇是Peter Machamer (1992) 的文章《科学哲学: 教育研究者的综述》。
18. 可以参考 Fantoli (1994, Chapter 7)、Finocchiaro (1989, 2005)、McMullin (2005) 和 Redondi (1988)。
19. 关于这件事情的讨论, 请参见Gauld (2005) 和 Good (2005)。
20. 《K-12科学教育框架》长达320页的手稿在国家学术出版社的网站上是免费的。可以在NRC (2007) 上找到关于《下一代科学教育标准》的背景研究。
21. 直到1870年, 才有了《公立小学教育法案》; 1902年和1903年, 《州立中学法案》出现。关于英国科学教育的历史, 可以参看Brock (1989, 1996)、Jenkins (1979, 2013)、Layton (1973) 和 Taylor & Hunt (2014)。
22. 关于阿姆斯特朗的生活、时代背景以及成就可以在Brock (1973) 和 Jenkins (1979) 的文章中找到。阿姆斯特朗的24篇文章以及通信地址发表在《科学方法的教学和关于教育的其他文章》(Armstrong 1903) 中。
23. 关于韦斯塔韦的生活、著作和成就, 可以在Brock和Jenkins (2014) 的文章中找到。
24. 可以在Jenkins (2014) 的文章中找到关于他生活、工作和成就的具体细节。
25. 《学校科学评论》的许多文章中都有布拉德利的观点, 这些文章的时间跨度达40年。他的第一篇期刊文章发表于1933年。他在一系列文章中阐述了他关于分子化学的教学方法, 这些文章发表在1957年第39卷、1958年第39卷、1959年第40卷以及1961年第42卷。在著名的“铜问题”上他捍卫阿姆斯特朗的启发式教学法, 反对纳菲尔德科学。《学校科学评论》的八篇文章中有关于这个问题的阐述, 这些文章分别发表于1963年、1964年、1964年、1965年、1966年、1967年、1967年和1968年。普拉格 (G. van Praagh) 的《发现中的化学》(1949) 是阿姆斯特朗启发式教学法的另一个例子。
26. 暗示科学史和科学哲学在课程中的优势需要详细阐述和鼓励。历史学家斯蒂芬·庞弗里 (Stephen Pumfrey) 在NCC的文件中发表了关于HPS假说在课程中的详细评论 (Pumfrey 1991)。
27. NCC的第一任主席邓肯·格雷厄姆 (Duncan Graham), 描述了NCC修订版本不愉快的政治经历 (Graham 1993)。许多严肃的问题是关于1988年报告中清晰描述的HPS在NCC报告第二版和后续版本的指导下的实现程度。1988年法案的政治起源和教育学意义在Flude和Hammer (1990) 以及Taylor和Hunt (2014) 的文章中进行了讨论。

28. Martin Monk 和 Jonathan Osborne (1997) 揭示了这些思考。
29. 在 Vesterinen *et al.* (2014) 的文章中可以找到 STS 与 HPS 广泛的共同传统。
30. STS 方面的研究并不是新的, 它们一直以来是受马克思主义影响的科学史的一部分, 在这方面 Bernal (1939) 和 Hogben (1940) 的工作是典范。约翰·宰曼 (John Ziman) 的工作解决了许多 STS 议题中核心的哲学和学科问题 (Ziman 1968, 1980, 1994)。
31. 可以在 Bennett *et al.* (2007) 的文章中找到 STS 教育有效性的最新研究。
32. 关于加拿大 STS/HPS 方案的综述, 参见 Metz (2014)。
33. 相关讨论可见 Sadler (2011) 以及 Zeidler & Sadler (2008)。
34. 20 世纪 60 年代关于探究教学法的大量文献中, 以下这些文献尤其有用: Ausubel (1964/1969)、Bruner (1961)、Rutherford (1964)、Schwab (1960) 以及 Shulman 和 Keislar (1966)。
35. Kelly (2014) 的文章对探究教学的这些方面进行了广泛细致的研究。
36. 关于 HPS 在施瓦布工作中的作用, 可以参见 DeBore (2014)。
37. 布鲁纳撰写了一篇关于伍兹霍尔会议的主席报告, 这篇报告以《教育过程》为题出版 (Bruner 1960), 并立即成为国际畅销书, 被翻译成 19 种语言,《纽约先驱论坛报》称它为“经典著作, 在哲学中心和人道关怀方面可以与杜威的教育著作相媲美”。关于这个会议更多的私人看法可以在布鲁纳的自传《寻找思想》中找到 (1983, pp. 181-188)。
38. 对探究式学习基本问题的讨论参见: Atkinson & Delamont (1977)、Ausubel (1964/1969)、Dearden (1967)、Harris & Taylor (1983)、Herron (1971)、Strike (1975)、Wellington (1981)。关于这个领域的当代评论可以参见 Kelly (2014)。
39. 每一个项目都有网站, 所有的网站都在欧盟的管理之下。

参考文献

- AAAS (American Association for the Advancement of Science): 1989, *Project 2061: Science for All Americans*, AAAS, Washington, DC. Also published by Oxford University Press, 1990.
- Aikenhead, G.S.: 1994, 'What is STS Teaching?' In J. Solomon and G. Aikenhead (eds) *STS Education: International Perspectives on Reform*, Teachers College Press, New York, pp. 47-59.
- Aikenhead, G.S.: 2000, 'Renegotiating the Culture of School Science'. In R. Millar and J. Osborne (eds) *Improving Science Education*, Open University Press, Philadelphia, PA, pp. 245-264.
- Alberta Education: 1990, *Unifying the Goals of Science Education*, Curriculum Support Branch, Edmonton, Canada.
- Andersen, H.O. (ed.): 1969, *Readings in Science Education for the Secondary School*, Macmillan, New York.
- Armstrong, H.E.: 1903, *The Teaching of Scientific Method and Other Papers on Education*, Macmillan, London.
- Arons, A.B.: 1983, 'Achieving Wider Scientific Literacy', *Daedalus* 112(2), 91-122.
- ASE (Association for Science Education): 1963, *Training of Graduate Science Teachers*, ASE, Hatfield, UK.
- ASE (Association for Science Education): 1979, *Alternatives for Science Education*, ASE, Hatfield, UK.
- ASE (Association for Science Education): 1981, *Education Through Science*, ASE, Hatfield, UK.
- Atkinson, P. and Delamont, S.: 1977, 'Mock-ups & Cock-ups'. In M. Hammersley and P. Woods (eds) *The Process of Schooling*, London, pp. 87-108.
- Ausubel, D.P.: 1964/1969, 'Some Psychological Aspects of the Structure of Knowledge'. In S. Elam (ed.) *Education and the Structure of Knowledge*, Rand McNally, Chicago, IL.
- Ausubel, D.P.: 1968, *Educational Psychology: A Cognitive View*, Holt, Rinehart & Winston, New York (2nd edn, 1978, with Novak & Haneson).
- Baltas, A.: 1988, 'On the Structure of Physics as a Science'. In D. Batens and J.P. van Bendegens (eds) *Theory and*

- Experiment*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands, pp. 207-225.
- Bauer, H.H.: 1992, *Scientific Literacy and the Myth of the Scientific Method*, University of Illinois Press, Urbana, IL.
- Bennett, J., Hogarth, S. and Lubben, F.: 2007, 'Bringing Science to Life: A Synthesis of the Research Evidence on the Effects of Context-based and STS Approaches to Science Teaching', *Science Education* 91(3), 347-370.
- Bernal, J.D.: 1939, *The Social Function of Science*, Routledge & Kegan Paul, London.
- Bishop, J.: 1989, 'Scientific Illiteracy: Causes, Costs, and Cures'. In A.B. Champagne, B.E. Lovitts and B.J. Callinger (eds) *This Year in School Science 1989. Scientific Literacy*, American Association for the Advancement of Science, Washington, DC, pp. 41-88.
- Black, P.J. and Lucas, A.M. (eds): 1993, *Children's Informal Ideas in Science*, Routledge, New York.
- Boyer, E.L.: 1983, *High School: A Report on Secondary Education in America*, Harper & Row, New York.
- Bradley, J.: 1963-1968, 'A Scheme for the Teaching of Chemistry by the Historical Method', *School Science Review* 44, 549-553; 45, 364-368; 46, 126-133; 47, 65-71, 702-710; 48, 467-474; 49, 142-150; 454-460.
- Bradley, J.: 1964, 'Chemistry II: The Copper Problem', *School Science Review* 45, 364-368.
- Bradley, J.: 1971, *Mach's Philosophy of Science*, Athlone Press of the University of London, London.
- Brock, W.H. and Jenkins, E.W.: 2014, 'Frederick W. Westaway and Science Education: An Endless Quest'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 2359-2382.
- Brock, W.H.: 1973, H.E. Armstrong and the Teaching of Science 1880-1930, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Brock, W.H.: 1989, 'History of Science in British Schools: Past, Present and Future'. In M. Shortland and A. Warwick (eds) *Teaching the History of Science*, Basil Blackwell, Oxford, UK, pp. 30-41.
- Brock, W.H.: 1996, *Science for All: Studies in the History of Victorian Science and Education*, Variorum Press, Aldershot, UK.
- Bruner, J.S.: 1960, *The Process of Education*, Random House, New York.
- Bruner, J.S.: 1961, 'The Act of Discovery', *Harvard Educational Review* 31, 21-32. Reprinted in R.C. Anderson and D.P. Ausubel (eds) *Readings in the Psychology of Cognition*, Holt, Rhinehart and Winston, New York, 1965.
- Bruner, J.S.: 1974, 'Some Elements of Discovery'. In his *Relevance of Education*, Penguin, Harmondsworth, UK, pp. 84-97. Originally published in L. Shulman and E. Keislar (eds) *Learning by Discovery*, Rand McNally, Chicago, IL, 1966.
- Bruner, J.S.: 1983, *In Search of Mind: Essays in Autobiography*, Harper & Row, New York.
- Bybee, R.W.: 1993, *Reforming Science Education: Social Perspectives and Personal Reflections*, Teachers College Press, New York.
- Bybee, R.W. (ed.): 1985, *Science, Technology, Society, Yearbook of the National Science Teachers Association*, NSTA, Washington, DC.
- Callahan, R.E.: 1962, *Education and the Cult of Efficiency*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Conant, J.B.: 1945, *General Education in a Free Society: Report of the Harvard Committee*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Crane, L.T.: 1976, *The National Science Foundation & Pre-College Science Education: 1950-1975*, US Government Printing Office, Washington, DC.
- Cromer, A.: 1993, *Uncommon Sense: The Heretical Nature of Science*, Oxford University Press, New York.
- Dearden, R.F.: 1967, 'Instruction and Learning by Discovery'. In R.S. Peters (ed.) *The Concept of Education*, Routledge & Kegan Paul, London, pp. 135-155.
- DeBoer, G.E.: 1991, *A History of Ideas in Science Education*, Teachers College Press, New York.
- DeBoer, G.E.: 2014, 'Joseph Schwab: His Work and His Legacy'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 2433-

2458.

- Dewey, J.: 1910, 'Science as Subject-Matter and as Method', *Science* 31, 121-127. Reproduced in *Science & Education*, 1995, 4(4), 391-398.
- Donnelly, J.F.: 2001, 'Contested Terrain or Unified Project? "The Nature of Science" in the National Curriculum for England and Wales', *International Journal of Science Education* 23(2), 181-195.
- Education Policies Commission: 1966, *Education and the Spirit of Science*, National Education Association, Washington, DC.
- Eisner, E.: 1979, *The Educational Imagination: On the Design and Evaluation of School Programs*, Macmillan, New York.
- Elbers, G.W. and Duncan, P. (eds): 1959, *The Scientific Revolution: Challenge and Promise*, Public Affairs Press, Washington, DC.
- Fantoli, A.: 1994, *Galileo: For Copernicanism and for the Church* (trans. G.V. Coyne), Vatican Observatory Publications, Vatican City (distributed by University of Notre Dame Press).
- Finocchiaro, M.A.: 1989, *The Galileo Affair: A Documentary History*, University of California Press, Berkeley, CA.
- Finocchiaro, M.A.: 2005, *Retrying Galileo: 1633-1992*, University of California Press, Berkeley, CA.
- Flude, M. and Hammer, M.: 1990, *The Education Reform Act 1988*, Falmer Press, Basingstoke, UK.
- Gauld, C.F.: 2005, 'Habits of Mind, Scholarship and Decision-Making in Science and Religion', *Science & Education* 14(3-5), 291-308.
- Glass, B.: 1970, *The Timely and the Timeless: The Interrelations of Science Education and Society*, Basic Books, New York.
- Good, R.G.: 2005, *Scientific and Religious Habits of Mind*, Peter Lang, New York.
- Graham, D.: 1993, *A Lesson for Us All*, Routledge, London.
- Harlem, W.: 1996, *The Teaching of Science in Primary Schools*, David Fulton, London.
- Harms, N.C. and Yager, R.E.: 1981, *What Research Says to the Science Teacher*, Vol.3, NSTA, Washington, DC.
- Harris, D. and Taylor, M.: 1983, 'Discovery Learning in School Science: The Myth & the Reality', *Journal of Curriculum Studies* 15, 277-289.
- Helgeson, S.L., Blosser, P.E. and Howe, R.W.: 1977, *The Status of Pre-College Science, Mathematics, and Social Science Education: 1955-1975*, US Government Printing Office, Washington.
- Herron, M.D.: 1971, 'The Nature of Scientific Inquiry', *School Review* 79, 170-212.
- Hodson, D.: 1987, 'Social Control As a Factor in Science Curriculum Change', *International Journal of Science Education* 9, 529-540.
- Hogben, L.: 1940, *Science for the Citizen*, 2nd edn, George, Allen & Unwin, London (1st edition, 1938).
- Holmyard, E.J.: 1922, *Inorganic Chemistry: A Textbook for Schools and Colleges*, Edward Arnold, London.
- Holmyard, E.J.: 1924, 'The Historical Method of Teaching Chemistry', *School Science Review* 20(5), 227-233.
- Holton, G.: 1986, "A Nation At Risk" Revisited'. In his *The Advancement of Science and Its Burdens*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 253-278.
- Hurd, P.D.: 1961, *Biological Education in American Secondary Schools 1890-1960*, American Institute of Biological Science, Washington, DC.
- Hurd, P.D.: 1985, 'A Rationale for a Science, Technology, and Society Theme in Science Education'. In R.W. Bybee (ed.) *Science, Technology, Society, Yearbook of the National Science Teachers Association*, NSTA, Washington, DC, pp. 94-101.
- Huxley, T.H.: 1868/1964, 'A Liberal Education; and Where to Find It'. In his *Science and Education*, Appleton, New York, 1897 (orig. 1885). Reprinted with Introduction by C. Winick, Citadel Press, New York, 1964, pp. 72-100.
- Huxley, T.H.: 1885/1964, *Science and Education*, The Citadel Press, New York.
- Jackson, P.W.: 1983, 'The Reform of Science Education: A Cautionary Tale', *Daedalus* 112(2), 143-166.

- Jenkins, E.W.: 1979, *From Armstrong to Nuffield*, John Murray, London.
- Jenkins, E.W.: 2013, 'The "Nature of Science" in the School Curriculum: The Great Survivor', *Journal of Curriculum Studies* 45(2), 132-151.
- Jenkins, E.W.: 2014, 'E.J. Holmyard and the Historical Approach to Science Teaching'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 2383-2408.
- Joad, C.E.M.: 1935, *The Book of Joad: A Belligerent Autobiography*, Faber & Faber, London.
- Kang, N.H.: 2008, 'Learning to Teach Science: Personal Epistemologies, Teaching Goals, and Practices of Teaching', *Teaching and Teacher Education* 24, 478-498.
- Kelly, G.J.: 2014, 'Inquiry Teaching and Learning: Philosophical Considerations'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1363-1380.
- Kirschner, P., Sweller, J. and Clark, R.E.: 2006, 'Why Minimally Guided Learning Does Not Work: An Analysis of the Failure of Discovery Learning, Problem-Based Learning, Experiential Learning and Inquiry-Based Learning', *Educational Psychologist* 41(2), 75-96.
- Klopfer, L.E.: 1964, 'The Use of Case Histories in Science Teaching', *School Science and Mathematics*, November, 660-666. In H.O. Andersen (ed.) *Readings in Science Education for the Secondary School*, Macmillan, New York, 1969, pp. 226-233.
- Klopfer, L.E. and Champagne, A.B.: 1990, 'Ghosts of Crisis Past', *Science Education* 74(2), 133-154.
- Klopfer, L.E. and Cooley, W.W.: 1963, 'Effectiveness of the History of Science Cases for High Schools in the Development of Student Understanding of Science and Scientists', *Journal of Research in Science Teaching* 1, 35-47.
- Lakatos, I.: 1970, 'Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes'. In I. Lakatos and A. Musgrave (eds) *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 91-196.
- Laudan, L.: 1983, 'The Demise of the Demarcation Problem'. In R.S. Cohen and L. Laudan (eds) *Physics, Philosophy and Psychoanalysis*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands, pp. 111-127.
- Layton, A.D. and Powers, S.R.: 1949, *New Directions in Science Teaching*, McGraw-Hill, New York.
- Layton, D.: 1973, *Science for the People. The Origins of the School Science Curriculum in England*, George Allen & Unwin, London.
- Lederman, N.G., Kuerbis, P.J., Loving, C.C., Ramey-Gassert, L., Roychoudhury, A. and Spector, B.S.: 1997, 'Professional Knowledge Standards for Science Teacher Educators', *Journal of Science Teacher Education* 8(4), 233-240.
- Léna, P.: 2009, 'Editorial: Europe Rethinks Education', *Science* 324, 501.
- McComas, W.F.: 2014, 'Nature of Science in the Science Curriculum and in Teacher Education Programmes in the United States'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1993-2023.
- Mach, E.: 1886/1986, 'On Instruction in the Classics and the Sciences'. In his *Popular Scientific Lectures*, Open Court Publishing, LaSalle, IL, pp. 338-374.
- Machamer, P.: 1992, 'Philosophy of Science: An Overview for Educators'. In R.W. Bybee, J.D. Ellis, J.R. Giese and L. Parisi (eds) *Teaching About the History and Nature of Science and Technology: Background Papers*, BSCS/SSEC, Colorado Springs, pp. 9-18. Reprinted in *Science & Education* 7(1), 1998, 1-11.
- McMullin, E. (ed.): 2005, *The Church and Galileo*, University of Notre Dame Press, Notre Dame, IN.
- Mahner, M.: 2007, 'Demarcating Science from Pseudoscience'. In T. Kuipers (ed.) *Handbook of the Philosophy of Science: General Philosophy of Science - Focal Issue*, Elsevier, Amsterdam, pp. 515-575.
- Mann, C.R.: 1912, *The Teaching of Physics for Purposes of General Education*, Macmillan, New York.
- Mansell, A.E.: 1976, 'Science for All', *School Science Review* 57, 579-585.
- Mayer, R.E.: 2004, 'Should There be a Three-Strikes Rule Against Pure Discovery Learning? The Case for

- Guided Methods of Instruction', *American Psychologist* 59(1), 14-19.
- Metz, D.: 2014, 'The History and Philosophy of Science in Science Curricula and Teacher Education in Canada.' In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 2025-2043.
- Millar, R. and Osborne, J.: 1998, *Beyond 2000: Science Education for the Future*, School of Education, King's College, London.
- Monk, M. and Osborne, J.: 1997, 'Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy', *Science Education* 81(4), 405-424.
- Novak, J.D.: 1977, *A Theory of Education*, Cornell University Press, Ithaca, NY (paperback edn, 1986).
- NCC (National Curriculum Council): 1988, *Science in the National Curriculum*, NCC, York, UK.
- NCC (National Curriculum Council): 1991, *Science for Ages 5 to 16*, DES, London.
- NCEE (National Commission on Excellence in Education): 1983, *A Nation At Risk: The Imperative for Education Reform*, US Department of Education, Washington, DC.
- NRC (National Research Council): 1996, *National Science Education Standards*, National Academies Press, Washington, DC.
- NRC (National Research Council): 2000, *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*, National Academies Press, Washington, DC.
- NRC (National Research Council): 2007, *Taking Science to School. Learning and Teaching Science in Grades K-8*, National Academies Press, Washington, DC.
- NRC (National Research Council): 2012, *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*, National Academies Press, Washington, DC.
- NRC (National Research Council): 2013, *Next Generation Science Standards*, National Academies Press, Washington, DC.
- NSTA (National Science Teachers Association): 1971, *School Science Education for the '70s*, NSTA, Washington, DC.
- Nunn, T.P.: 1907, *The Aims and Achievements of the Scientific Method*, Macmillan, New York.
- Pennock, R.T.: 2011, 'Can't Philosophers Tell the Difference Between Science and Religion? Demarcation Revisited', *Synthese* 178(2), 177-206.
- Piel, E.J.: 1981, 'Interaction of Science, Technology, and Society in Secondary Schools'. In N.C. Harms and R.E. Yager (eds) *What Research Says to the Science Teacher*, Vol.3, NSTA, Washington, DC, pp. 94-112.
- Poupard, P. (ed.): 1987, *Galileo Galilei: Toward a Resolution of 350 Years of Debate - 1633-1983*, Duquesne University Press, Pittsburgh, PA.
- Praagh, G. van: 1949, *Chemistry by Discovery*, Murray, London.
- PRIMAS: 2013, *Inquiry-Based Learning in Maths and Science*, European Union, Freiburg, Germany.
- Pumfrey, S.: 1991, 'History of Science in the British National Science Curriculum: A Critical Review of Resources and Their Aims', *British Journal for the History of Science* 24, 61-78.
- Quine, W.V.O.: 1960, *Word and Object*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Raizen, S.A.: 1991, 'The Reform of Science Education in the U.S.A.: Déjà Vu or De Nova', *Studies in Science Education* 19, 1-41.
- Redondi, P.: 1988, *Galileo Heretic*, Allen Lane, London.
- Roberts, D.A.: 1982, 'Developing the Concept of "Curriculum Emphases" in Science Education', *Science Education* 66, 243-260.
- Rocard, M., Osermely, P., Jorde, D., Lenzen, D. and Walberg-Henniksson, H.: 2007, *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*, European Commission, Brussels.
- Rosenthal, D.B. and Bybee, R.W.: 1987, 'Emergence of the Biology Curriculum: A Science of Life or a Science of Living?' In T.S. Popkewitz (ed.) *The Formation of the School Subjects: The Struggle For Creating an American Institution*, Falmer Press, New York, pp. 123-144.

- Rosenthal, D.B.: 1985, 'Biology Education in a Social and Moral Context'. In R.W. Bybee (ed.) *Science, Technology, Society, Yearbook of the National Science Teachers Association*, NSTA, Washington, DC, pp. 102-116.
- Rudolph, J.L.: 2002, *Scientists in the Classroom: The Cold War Reconstruction of American Science Education*, Palgrave, New York.
- Rudolph, J.L.: 2008, 'Historical Writing on Science Education: A View of the Landscape', *Studies in Science Education* 44(1), 63-82.
- Rutherford, F.J.: 1964, 'The Role of Inquiry in Science Teaching', *Journal of Research in Science Teaching* 2, 80-84. Reprinted in W.D. Romey (ed.) *Inquiry Techniques for Teaching Science*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1968, pp. 264-270.
- Rutherford, F.J. and Ahlgren, A.: 1990, *Science for All Americans*, Oxford University Press, New York.
- Sadler, T.D. (ed.): 2011, *Socio-scientific Issues in the Classroom: Teaching, Learning and Research*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Schulz, R.M.: 2014, 'Philosophy of Education and Science Education: A Vital but Underdeveloped Relationship'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1259-1315.
- Schwab, J.J.: 1960, 'The Teaching of Science as Enquiry'. In J.J. Schwab and P. Brandwein (eds) *The Teaching of Science*, Harvard University Press, Cambridge, MA, pp. 1-103.
- Shulman, L.S. and Keislar, E.R. (eds): 1966, *Learning by Discovery: A Critical Appraisal*, Rand McNally, Chicago, IL.
- Shavelson, R.J. and Towne, L. (eds): 2002, *Scientific Research in Education*, National Academy Press, Washington, DC.
- Shymanskyj, J.A., Hedges, L.V. and Woodworth, G.: 1990, 'A Reassessment of the Effects of Inquiry-Based Science Curricula of the 60's on Student Performance', *Journal of Research in Science Teaching* 27(2), 127-144.
- Solomon, J.: 1985, 'Science in a Social Context: Details of a British High School Course', in R.W. Bybee (ed.) *Science, Technology, Society, Yearbook of the National Science Teachers Association*, NSTA, Washington, DC, pp. 144-157.
- Stevens, P.: 1978, 'On the Nuffield Philosophy of Science', *Journal of Philosophy of Education* 12, 99-111.
- Strike, K.A.: 1975, 'The Logic of Learning by Discovery', *Review of Educational Research* 45, 461-483.
- Sund, R.B. and Trowbridge, L.W. (eds): 1967, *Teaching Science by Inquiry*, Charles Merrill, Columbus, OH.
- Swinbank, E. and Taylor, J. (eds): 2007, *Perspectives on Science: The History, Philosophy and Ethics of Science*, Heinemann, Harlow, UK.
- Taylor, J.L. and Hunt, A.: 2014, 'History and Philosophy of Science and the Teaching of Science in England'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 2045-2081.
- Uglow, J.: 2002, *The Lunar Men: Five Friends Whose Curiosity Changed the World*, Faber & Faber, London.
- Vesterinen, V.-M., Manassero-Mas, M.-A. and Vázquez-Alonso, A.: 2014, 'History, Philosophy and Sociology of Science and Science-Technology-Society Traditions in Science Education: Continuities and Discontinuities'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1895-1925.
- Waring, M.: 1979, *Social Pressures & Curriculum Innovation: A Study of the Nuffield Foundation Science Teaching Project*, Methuen, London.
- Welch, W.W.: 1979, 'Twenty Years of Science Education Development: A Look Back', *Review of Research in Education* 7, 282-306.
- Welch, W.W., Klopfer, L., Aikenhead, G. and Robinson, J.: 1981, 'The Role of Inquiry in Science Education: Analysis and Recommendations', *Science Education* 65(1), 33-50.
- Wellington, J.J.: 1981, 'What's Supposed to Happen, Sir? - Some Problems with Discovery Learning', *School Science Review* 63(222), 167-173.
- Westaway, F.W.: 1929, *Science Teaching*, Blackie and Son, London.
- Woodhull, J.F.: 1910, 'The Teaching of Physical Science', *Teachers College Record* 11(1), 1-82.

- Yager, R.E. (ed.): 1993, *The Science, Technology, Society Movement*, NSTA, Washington, DC.
- Yager, R.E. (ed.): 1996, *Science/Technology/Society as Reform in Science Education*, SUNY Press, Albany, NY.
- Young, M.F.D.: 1976, 'The Schooling of Science'. In G. Whitty and M.F.D. Young (eds) *Explorations in the Politics of School Knowledge*, Nafferton Books, Driffield, UK, pp. 47-61.
- Zacharias, J.R.: 1964, 'Curriculum Reform in the USA'. In S.C. Brown, N. Clarke and J. Tiomno (eds) *Why Teach Physics: International Conference on Physics in General Education*, MIT Press, Cambridge MA, pp. 66-70.
- Zeidler, D.L. and Sadler, T.D. (eds): 2008, 'Social and Ethical Issues in Science Education', Special issue of *Science & Education* 17(8-9).
- Ziman, J.: 1968, *Public Knowledge: The Social Dimension of Science*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ziman, J.: 1980, *Teaching and Learning about Science and Society*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Ziman, J.: 1994, 'The Rationale of STS Education Is in the Approach'. In J. Solomon and G. Aikenhead (eds) *STS Education: International Perspectives on Reform*, Teachers College Press, New York, pp. 21-31.

19世纪中叶，阿盖尔公爵（Argyll）在英国科学促进会（BAAS）的主席致辞中声明：“我们要教给年轻人的不仅仅是结论，还有方法，最重要的是还有科学史”（Jenkins 1990, p. 274）。尽管忽视这一号召比执行这一号召的人多，但科学教育中仍有一小部分传统尝试把科学史的部分内容纳入科学教学当中。利奥·克洛普弗（Leo Klopfer）在美国长期致力于这一工作，他对这一传统进行了如下悲观的评论：

“把科学史与科学本质整合到学校和学院科学教学中的提议已有60多年的历史。在这段漫长的时期里，围绕着科学与科学史的各种各样的教学材料层出不穷。当时教育者坚信每一课或每一单元的历史内容都在传达科学哲学的知识。他们的科学哲学能够识别关于科学本质的一些概念，并希望学生可以理解或领会。这些概念交织成一张网，科学内容与科学史的线形成了网的结构。然而，每张网都是脆弱的，极少能坚持长久，最终只能在科学教育的领域中留下微不足道的印记。”

（Klopfer 1992, p. 105）

本章将概述科学史在科学课程中不断变化的地位，并阐释在科学教育中融入历史产生的一些争论。为了阐明这些争论，在教授大气压力的内容时，会对历史方法与“专业”或“技术”方法进行比较。最后，本章将分析并摒弃一些科学家和历史学家提出的“反对在科学课程中融入科学史”的论断。

历史原因

在不同的时间与地点，呼吁将历史元素融入科学教学的原因有以下几方面：

1. 历史对更好地理解科学概念与科学方法有促进作用。
2. 历史方法将个体思维发展与科学概念发展联系起来。
3. 科学史是有其内在价值的。所有的学生都应该熟悉科学史和文化史上的重要事件。
4. 历史是理解科学本质的必要条件。
5. 通过审视科学家个人生活与所处时代，将科学主题人性化，科学就不那么抽象，从而更吸引学生。
6. 历史在科学主题和科学学科以及其他学科之间建立联系；历史展现了人类成就间相互关联和相互依赖的本质。

历史促进对概念的理解

依据充分的理解必须是基于史实的，这一信念是第一个论点的基础。历史对正确理解社会机构（如政党与教会）或社会习俗和传统（如结婚仪式与相关法律）的重要性是得到广泛认同的。即使同样的思考用于对科学知识的理解，也未必能得到如此广泛的认同。恩斯特·马赫（Ernst Mach）认为：“历史探究不仅有助于理解现在，而且能够提供关于历史新的可能性”（Mach 1883/1960, p. 316）。对马赫而言，历史的视角通常将人们，特别是科学家置于传统思想中，使人们发现对他们有意义的概念和知识框架是如何受历史制约的。所以，历史的视角促进新观点与新概念的产生。马赫认为，通过对古典文学的研究也可以得到相同的结论：

“一个读过并理解希腊和罗马作家的人比一个只局限于当前印象的人有更多的感知与体验。他看到处于不同环境中的人对同一事物所做的判断与我们当今所做的判断是多么不同。他自己的判断因此显得更加独立。”

（Mach 1886/1986, p. 347）

为支持马赫的观点，阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein）在他的自传文集里写道，机械论世界观已深深地影响了包括麦克斯韦（Maxwell）和赫兹（Hertz）在内的同一时代的所有科学家。他说：“正是马赫的《力学史》撼动了这种教条式的信仰，就这一点来说，该书对我产生了深远的影响”（Schilpp 1951, p. 21）。

相对于英美的著作，历史视角对理解的重要性在欧洲大陆得到了更

广泛的认可。卢德维克·弗莱克 (Ludwik Fleck)¹⁾ 在一本有助于托马斯·库恩 (Thomas Kuhn) 科学哲学发展的书中, 简要地阐述了如下观点:

“与历史无关的理解 (即把理解和历史分开) 是无法完成的。这就好比一个孤立的研究者是不会表现出对任何合群行为的理解一样。”

(Fleck 1935/1979, in Sibum 1988, p. 139)

最近, 恩斯特·迈尔 (Ernst Mayr) 在其《生物学思想发展史》的开篇中, 以如下描述向科学家推荐了一项历史性研究:

“我感觉研究某一领域的历史是理解其概念的最佳方法。只有通过回顾获得这些概念所经历的艰难历程——通过学习早期所有被逐个反驳的错误假设, 换句话说, 就是学习过去所有的错误, 才有可能获得彻底的、合理的理解。在科学领域中, 一个人不仅要从自己的错误中学习, 还要在历史发展过程中从他人的错误中学习。”

(Mayr 1982, p. 20)

个人与科学中的概念转变

第二个论点认为, 历史视角可以使学生将概念和概念结构置于广大的知识体系与科学观念史中, 而且历史的呈现也以个体认知发展的某些心理现实为基础。恩斯特·马赫是这种起源方法的极力倡导者。该论点认为, 个体认知的发展在某种程度上自然而然地反映了物种认知的发展。黑格尔 (Hegel) 也许是第一个阐明这种思想的人, 随后赫伯特·斯宾塞 (Herbert Spencer) 继承了他的观点。1938年, 英国化学家兼教科书作者霍格 (J. C. Hogg) 在他的文章中写道:

“历史发展是一种逻辑方法。本世纪早期发展缓慢是由于知识缺乏、技术落后以及工作没有方式方法。但这些恰好也是化学初学者的困难所在。初学者与先驱者之间存在共性。”

(Hogg 1938, p. vii)

50年后, 詹姆斯·沃灵顿 (James Wandersee) (1985) 提出了几种方法。他认为, 学科知识的发展史有助于教师预测和理解学生在学习该学科时遇到的困难, 同时历史也可以为促进学生概念转变提

供问题和试验方法。有 3,000 多项已发表的关于儿童在科学学习中的错误概念的研究,而有关抵制科学学习和科学教学的信息更是铺天盖地 (Duit 2009)。那些科学发展史中缓慢、历经艰难的特定知识,有助于教师有计划地组织教学、选择实验和活动、解答课堂问题和疑惑、“重做”最初的实验以及重温关于实验的历史解释和就实验进行讨论。

在科学教学中,有大量关于历史的应用及历史性资源(论文、实验、生活纪事)的研究。表 4.1 列举了其中一些具有代表性的研究。

表 4.1 教学法中应用科学史的一些研究

主题	研究
科学 (普通)	Cohen (1950)、Conant (1947)、Finocchiaro (1980)、Kindi (2005)、Klopfer (1992)、Kokkotas <i>et al.</i> (2011)、Lennox & Kampourakis (2013)、Stinner <i>et al.</i> (2003)、Wandersee (1985)
物理学 (普通)	Brush (1969)、Hong & Lin-Siegler (2012)、Jung (1983)、Seroglou & Koumaras (2001)
光学	Andreou & Raftopoulos (2011)、Galili (2014)、Galili & Hazan (2001)、Kipnis (1992)、Mihas & Andreadis (2005)
氧气和燃烧	Cartwright (2004)、Pumfrey (1987)
遗传学	Burian (2013)、El-Hani <i>et al.</i> (2014)、Jamieson & Radick (2013)
电学	Binnie (2001)、Leone (2014)、Sibum (1988)
化学	Chamizo (2007)、Chang (2010)、Kauffman (1989)、Padilla & Furio-Mas (2008)
量子理论	Garritz (2013)、Greca & Friere (2014)、Kragh (1992)
进化论	Gauld (1992)、Jensen & Finley (1995)、Kampourakis (2013)
数学	Fauvel (1990)、Gulikers & Blom (2001)、Panagiotou (2011)
热力学	Besson (2014)、Cotignola <i>et al.</i> (2002)、De Berg (2008)
相对论	Levrini (2014)、Villani & Arruda (1998)
力学	Besson (2013)、Coelho (2007、2009)、Gauld (1998)、Kalman (2009)、Schecker (1992)

科学史具有内在价值

第三个论点没有得到如期发展。值得称道的是,《2061 计划》确实提

出了这个论点，并列举了受到良好教育的学生应该知道和理解的十个重要事件：

“这里强调的是可以代表科学知识的演化与影响的十个重大发现与变革：地球是行星、万有引力、相对论、地质时期、板块构造理论、物质守恒、放射现象和核裂变、物种进化、疾病的本质和工业革命。”

(AAAS 1989, p. 111)

还有一些不容忽视的内容，基因与遗传学就很引人注目——正如早期现代科学与启蒙运动的联系。不幸的是，多数国家允许学生在不具备任何科学、数学与技术成果知识的前提下修完历史课程，而这些知识却是文明发展史的重要组成部分。假如学习科学革命历史的时间与学习政治革命历史的时间一样多，学习孟德尔（Mendel）和遗传学历史的时间与学习将军历史的时间一样多，学习计时系统发展历史的时间与学习宪法发展历史的时间一样多，那么整个社会的教育将得到极大的发展，斯诺（C. P. Snow）所惋惜的“两种文化”的差距将显著减小（Snow 1963）。

理解科学的本质需要历史

第四个论点已在《2061计划》中详细阐释，并在前面章节进行过讨论。在早期关于科学史与科学哲学的关系中也进行了详细的讨论。本书赞同教育的目标需要历史化的科学哲学这一正确立场。

历史使科学主题人性化

第五个论点经常在应对以下两个问题时提出：科学被普遍滥用的问题；与不成熟的科学理解有关的权威主义教学实践的问题。许多人由于目睹高科技战争、使用声呐追踪捕鲸、使用凝固汽油弹攻击等事件对科学与技术产生了反感，一些历史性的研究可以帮助人们消除这些反感。伟大的或者普通的科学家在他们生活的时代中，往往有很多可供学生阅读、辩论、重演的有趣的事件和话题。这可能与学校历史教材“无英雄”的状况不同，但大多数公众仍然愿意购买。因此，科学家的传记登上畅销书排行榜并被译成多种语言出版并非偶然，在此只列举一些比较著名的传记：《伽利略》（Heilbron 2010）、《牛顿》（Westfall

1980)、《哈里森》(Sobel 1994)、《高尔顿》(Gillham 2001)、《达尔文》(Desmond & Moore 1991)、《普朗克》(Heilbron 1986)、《爱因斯坦》(Pais 1982)、《居里》(Pflaum 1989)和《玻尔》(Pais 1991)。

戴瓦·索贝尔(Dava Sobel)是一个典型的例子。学术界曾经对“经度问题”做了广泛的研究,并且发表了相关文章,出版了相关书籍,但销售情况却很不乐观(Matthews 2000b, Chapter 7)。作为一名新闻记者,索贝尔在哈佛参加了关于经度主题的会议后,自己做了一些相关工作,出版了一本关于该主题的畅销书。该书被翻译成多种语言销往世界各地(Sobel 1994)。这本书把科学史传播给了广大的读者。就科学普及而言,历史学家与教育家还有很多需要学习的地方(Gascoigne 2007)。

角色扮演与戏剧的运用,从小学到高中都是非常成功的。记不清普朗克常数的学生应该能记得第三帝国时期普朗克作为威廉皇帝研究院会长面临的“正直者的困境”——这是约翰·海尔布伦(John Heilbron)为普朗克撰写的鸿篇传记的副标题。科学老师可以与历史老师、戏剧老师一起创设普朗克当时所遭遇的情形与困境,并把他当时的决心以戏剧的方式表达出来。

历史是了解某个术语的另一种方式,如波义耳定律、欧姆定律、牛顿定律、胡克定律、居里的发现、马赫带效应、普朗克常数、计量单位伏特和欧姆,等等。詹姆斯·沃灵顿已经成功地将历史小故事嵌入科学教学中,并在课堂与资源允许的范围内把它们做到最精细(Wandersee & Roach 1998)。

历史促进课程的衔接

第六个论点:历史将科学与其他学科整合在一起——这已经成为科学教学自由教学法的支柱。珀西·纳恩(Percy Nunn)、詹姆斯·科南特(James Conant)、杰拉尔德·霍尔顿(Gerald Holton)等人已经认识到了历史的整合功能。这也是哈佛委员会《自由社会中的通识教育》报告的核心之一(Conant 1945),在哈佛物理学课程(Harvard Project Physics programme)中也有所突显(Holton 1978, 2003)。科学连同数学、哲学、技术、神学、商业、艺术和文学一起发展,转而又影响了这些领域中的每一个学科。历史可以使科学课程向学生展现出它丰富多彩的一面,并帮助他们认识到人类知识与实践努力间的相互联系。

伽利略的物理学依赖于欧几里得几何学，而后又转化为阿基米德的力学分析（在土耳其入侵君士坦丁堡时难民们将其带到了意大利）。伽利略的物理学也依赖于技术的进步，最明显的是磨光透镜和望远镜的使用。伽利略的哲学使他能够率先理解、然后打破身边那些局限于亚里士多德观点的物理学的束缚。他的神学观念也使他能自由探究天空并完成自由落体运动的实验。甚至在旋转体计时当中，音乐也起到了重要的作用。另外，资助、商业与通讯技术无疑都对伽利略的成就有所贡献。反过来，他的新数学、实验物理学对随后的物理学、哲学、技术、商业、数学与神学的发展都有重大影响。

在牛顿、达尔文和爱因斯坦的成就中，也可见相同模式的影响和作用，这里只是列举了最著名的例子。对科学来说，历史性研究方法有助于学生将所学的具体科学主题与数学、文学、政治、历史、神学、地理、哲学、艺术等方面的学习联系起来。当充分理解了科学史的丰富内涵时，科学教师与其他学科教师间的合作就会得到大力支持，进而为学生提供更多具有吸引力的案例²。

美国科学课程的历史：科南特的遗产

在美国，正如利奥·克洛普弗所说，“将科学史与科学本质纳入学校科学教学中的提议已有超过60年的历史”（Klopfer 1992, p. 105）³。20世纪20年代，一些化学家遵循英国霍姆亚德（Holmyard）的案例，倡导科学教学中的历史性研究方法，并撰写了许多具有历史导向性的文章⁴。

二战后，科学教学中通识教育和情境教学得到快速发展。其中主要的是哈佛大学校长詹姆斯·科南特（James B. Conant）在科学教学中使用的案例教学法得到广泛应用。科南特在负责哈佛大学本科生通识教育时研究出该方法，并在政府报告《自由社会中的通识教育》（Conant 1945）与他的平装畅销书（Conant 1947, 1951）中进行了大力推广。他的两卷本《哈佛实验科学案例史》现已成为广受欢迎的大学教科书。通识教育报告提出：

“通识教育中的科学教学应该以广泛的理论综合为特征——比较科学思维方式与其他思维方式；比较个体科学之间的差异；比较科

学与其过去以及整个人类历史的关系；比较科学与人类社会存在的问题之间的关系。”

(Conant 1945, p. 155)

报告随后明确了科学的关键特征，其抽象性与传统依赖性使科学学习变得困难，正如马赫所说，历史有助于理解科学：

“科学事实和实验室经验不能通过自身得以支持；它们不再代表与学生日常生活直接联系的简单自发、切实有效的组成部分。当这些部分远离学生的经验，变得不易觉察、更加抽象时，科学事实必须在另一种文化、历史与哲学的情境中学习。只有更为广泛的视角才能给全体学生提供观点和有持久价值的科学信息与经验。”

(Conant 1945, p. 155)

科南特的影响力没有被高估 (Hershberg 1993)。托马斯·库恩的第一本书《哥白尼式的革命》，源于他在“哈佛通识教育计划”中的演讲，他在序言中讲道：

“与科南特的初次合作就说服了我：历史研究可以对科学研究的结构与功能产生新的理解。如果我没有创立哥白尼式革命，就没有本书或本人撰写的其他科学史论文。”

(Kuhn 1957, p. xi)

无论好坏，库恩的个人转变引发了科学史、科学哲学与科学社会学及其他学术领域的巨大转变。在过去半个世纪，模糊的、常被曲解的“范式”观点及其相关的相对主义认识论和唯心主义存在论，已经成为学术领域甲板上一门不牢固的大炮⁵。

杰拉尔德·霍尔顿的情况与此类似。20世纪60年代初，他与斯蒂芬·布拉什 (Stephen Brush)、弗莱彻·沃森 (Fletcher Watson)、詹姆斯·卢瑟福 (James Rutherford) 等人致力于为中学开发“哈佛物理学课程”。霍尔顿为科学教育中的自由观点提供了大量有力辩护 (Holton 1975, 1978)，并撰写了一本融入历史与哲学主题的大学物理教材 (Holton 1952)。

当时年轻的物理学毕业生伯纳德·科恩 (I. Bernard Cohen) 曾与科

南特一起参与到科南特的耶鲁大学特邀讲座，随后出版了《论对科学的理解：一种历史性研究方法》一书（Conant 1947）。这本广受欢迎的书阐述了许多观点，其中之一便是坚决主张科学史是理解科学必不可少的。科恩随后与科南特一起参与到哈佛委员会的工作中，该委员会完成了上文提到的1945年的报告，即著名的“红皮书”。此外，科恩在1950年撰写了大量关于历史对科学教学重要性的论文⁶。战后，科南特组织了一系列由化学教师、物理教师以及科学史学家参与的会议。会议的一项重要成果便是论文集《通识教育中的科学》（McGrath 1948）。

科南特哈佛案例研究在大学课程中的成功，以及约瑟夫·施瓦布（Joseph Schwab）在芝加哥大学开展的基于历史教材的科学课程（Schwab 1950）的范例，使得利奥·克洛普弗也效仿他们在芝加哥大学开展了类似的中学科学教学。他阐释的原理在他与弗莱彻·沃森的文章中有介绍，而沃森随后也参与到了“哈佛物理学课程”中（Klopfer & Watson 1957）。他们的主要关注点之一是增加学生对科学事业以及对科学事业与社会相互作用的理解。他们担心的是那些学生无法熟练掌握的东西很快被贴上“科学素养”的标签——“科学素养”这一术语是由赫德（Hurd）（1958年）和菲茨帕特里克（Fitzpatrick）（1960年）引入的。他们发现历史性研究是一种可以拓展与丰富学生对科学理解的方法。克洛普弗随后提出，科学素养应包括以下五个部分：

- 了解重要科学事实、概念、原理和理论的知识；
- 将相关科学知识应用于日常生活情境的能力；
- 对科学事业的构成、科学技术与社会相互作用的重要性、科学家的品质有大致地了解；
- 应用科学探究过程的能力，理解科学探究的本质；
- 与科学有关的态度与兴趣的培养（Klopfer 1990, p. 3）。

克洛普弗和沃森开发了一门名为“学校科学史案例（History of Science Cases for Schools, HOSC）”的课程（Klopfer 1969b）⁷，每本单独的小册子里有八个案例，其中包括历史故事、科学家原创论文的引文、相关的学生实验和练习、旁注和问题以及留给学生写问题答案的空白；同时他们也研发了教师指导用书与相关的补充材料。实验版教材在108个班级进行了试验和评估，结果令人欣喜：

“把HOSC的方法应用于高中生物、化学和物理课堂，确实有效提升了学生对科学与科学家的理解……而且……他们对科学与科学家的理解这些显著的收获几乎没有影响正常高中科学课程的学习。”

(Klopfer & Cooley 1963, p. 46)

这一案例成功后，芝加哥科学研究协会也进行了一个延续多年的案例研究并得以出版(Klopfer 1964—1966)；旧金山沃兹沃思出版社出版了另一个版本的教材(Klopfer 1969b)。尽管他们取得了初步的成功，但似乎也成为如克洛普弗所说的“极少能长久坚持，最终只能在科学教育领域中留下微不足道的印记”网络的一部分。

第59届国家教育研究协会(National Society for the Study of Education)年鉴公开支持自由或者通识教育计划，其建议如下：

“学生应该学习一些科学知识的特征以及科学是如何发展和应用的。学生应当看到知识具有某些动态特征，它的含义与重要性极可能随着时间发生改变。”

(NSSE 1960)

然而，正如年鉴中所写，课程与社会时代是不断变化的。美国国家科学基金会(National Science Foundation)成立于1950年，并在1956年首次资助了高中科学课程的开发。这项资助给了麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology, MIT)的“物理科学研究委员会(PSSC)”，该草案的颁布与苏联人造卫星发射基本处于同一时期。随后它迅速跟上了之前讨论的由NSF资助的课程项目的浪潮，而在此浪潮中，忽略了历史、技术与文化的问题，研究重点是掌握理论化形式中的科学内容。相比1960年国家教育研究协会(NSSE)在年鉴中建议的通识教育法、人文主义方法或情境教育法，美国国家科学基金会(NSF)则以专业的、技术的、学科的方法开展科学教育。1960年，美国国家科学基金会的宗旨由哥伦比亚大学教师学院科学人力资源项目编写的《科学教育政策》得以阐明：

“我们应当清楚，教育是为科学提供优秀人力资源的基本要素。我们必须改进学校科学教育……这样并且只有这样，我们才能不断得

到新的科学技术人才，由此满足我们当前及未来预期的文化需求。”

(Fitzpatrick 1960, p. 195)

20世纪60年代早期，在没有科学史学家与科学哲学家参与的情况下，这些科学课程改革继续推行，但有两个明显的例外：“哈佛物理学课程”与“生物科学课程研究中心（BSCS）的高中生物教材黄皮本”。还有相对不那么有名的克洛普弗（Klopfer）与库勒（Cooley）在1956年到1960年期间进行的高中科学史案例研究。

BSCS教材是基于前面提到的芝加哥大学生物学家、哲学家和教育学家施瓦布的观点编写的。他撰写了一篇极具影响力的文章，题为《与通识教育相关的科学知识的本质》（Schwab 1949），强有力地推进了杜威的“科学即探究”的观点⁸。施瓦布在为BSCS课程撰写的教师手册中大力倡导历史性研究方法，其中写道：

“科学即探究教学的本质在于通过它们的探究方法和验证方法的框架来呈现一些科学结论……也包括正确对待怀疑与科学的不完备性。”

(Schwab 1963, p. 41)

历史法也得以倡导的原因是因为它“关注人与事件而不是科学概念本身。探究有人性化的一面”（Schwab 1963, p. 42）。

英国科学课程的历史

在英国，将科学史融入科学教育也有着悠久的、曲折的历史⁹。英国科学促进会（BAAS）在其1917年的会议上重申了阿盖尔公爵在1855年会议上的呼吁。协会认为，科学史“可以解决学校课表中文科与理科之间的人为屏障”（Jenkins 1990, P. 274）。1918年，极具影响力的政府报告《教育中的自然科学》（汤普森担任主席之后发表的，被称为《汤普森报告》）也认为历史具有创造性作用：

“我们想在教学中引入一些科学的主要成就并从科学中得到方法。教学应该多一些科学精神，少一些骨架……可以通过讲授科学史的课程达到这一目标。”

(Brock 1989, p. 31)

报告进一步提出：“每一个中学科学老师的知识素养都应该包含一部分科学史和科学哲学的知识”。战后不久开发的“普及科学”课程纳入了这些建议（Mansell 1976）。

两次世界大战期间，科学哲学家珀西·纳恩、理查德·格雷戈里（Richard Gregory）及其他具有历史思想的教育工作者主张使用历史案例。他们受黑格尔、斯宾塞、赫尔巴特观点的影响——即个体思维的发展在某种意义上是人类思维历史发展的复现——随后这一观点在皮亚杰的发生认识论中得到广泛应用（Kitchener 1986）。霍姆亚德（E.J. Holmyard）（1924, 1925）、科克拉内（J. A. Cochrane）与帕廷顿（J. R. Partington）编写的科学教材广受欢迎，其中就结合了这些观点。霍姆亚德的《基础化学》（Holmyard 1925）在1925年至1960年间售出超过五十万本。

英国《学校科学评论》对科学史专业期刊《科学史年刊》（1936）和《安比克斯》（1937）的创刊表示十分欢迎，学校教师的评论如下：

“据经验所知，科学史的价值具体表现为激发与保持学习兴趣，并且直面科学无人性的批判……每一个学校图书馆中都应该有这些（期刊）。”

（Sherratt 1983, p. 421）

20世纪20年代和30年代，教师培训学院为科学教师提供了关于科学史的专门课程，英国伦敦大学学院在1921年初开始设立科学史硕士学位。

第二次世界大战后，历史的重要性逐渐被削弱。小部分纳菲尔德O级课程，更通俗地说是纳菲尔德经验性课程忽略了科学在历史、社会和文化维度方面的内容。一些审查委员会单独开设了科学史课程，但至20世纪80年代，申请者人数呈现急剧下降的趋势。20世纪80年代初，在国家课程之前引入了科学史课程，它在纳菲尔德课程、“社会情境中的科学（SISCON）”以及“社会中的科学与技术（SATIS）”中尚有一席之地。

学校科学在情境维度的衰退成为英国科学教育学会（ASE）的关注点，从很多报告中可以看出，ASE强烈要求科学课程中融入更多的历史与哲学材料（ASE 1979, 1981）¹⁰。英国科学教育学会在1979年《科学教育的抉择》中描述了科学教育的三种方法，都强调了科学史与科学哲学。它在1981的报告中建议：

“科学教学如同一种文化活动：越重视科学活动中的历史、哲学与社会影响，科学知识和文化的追求就越广泛，进而越能理解科学技术对社会与世界观的贡献。”

(ASE 1981)

经过不懈努力，世界范围内反复出现了一个主旋律，即教师并没有准备好开展科学情境教学，最早在1963年科学教育学会的报告《科学研究生导师的培训》(ASE 1963)中就已经提出。那么，从现在起，为了将科学史与科学哲学融入职前与在职教师培训，就需要付出更多努力了。

关于大气压力的教学

对比科学教学时使用的专业方法与情境方法，最好的途径是将这两种方法或两种维度应用于具体主题的教学中进行检验。大气压力作为多数小学与中学科学课程中的一个核心主题，可以视为一个很好的例子，当然也可以选择其他主题。

历史—人文教学法

科学教学中关于气压的内容有比较好的历史教学法。大气压力和波义耳真空泵是1957年科南特哈佛案例研究中的第一个主题。克洛普弗的九个案例研究(Klopfner 1969b)中包含三个物理单元，其中一个就是关于大气压力的单元(案例六)。每个单元包括正文、摘录、活动、幻灯片、硬件和实验。此案例研究将17世纪用流体静力学观点解释大气压相关现象与推翻亚里士多德关于“自然界厌恶真空”的观点的故事结合起来。托里拆利(Torricelli)使用气压计完成了开拓性的工作，水银柱位于槽中水银平面上方30英寸的位置，施加在槽中水银表面大气的重量使水银柱保持平衡。

案例六是关于伽利略对抽水只能把水抽到34英寸高的错误解释的相关材料——他认为，如果水柱超过这个高度，就会在自身重量的作用下断开。该案例让学生手持一片嚼过的口香糖进行拉伸，看口香糖能够承受的不断开的长度是多少，并问学生是否可以通过类比，推测一段长的水柱也有可能发生类似的情况。该案例还包含关于帕斯卡定律的相关资料，并建议学生制作一个简易水压机来阐释原理。至于其他好的方面，

该案例使学生看到即便像伽利略这样伟大的科学家也会犯错，也会坚持不正确的信念。更明显的例子还有伽利略对潮汐完全错误的解释。潮汐这一主题出现在伽利略1633年《对话》中的最后一天，他坚信该主题为哥白尼学说提供了最好的论证¹¹。历史展示了科学和科学家的错误，这些错误同他们的成功一样，有些内容对学生的学习非常有用。

克勒普弗的每个案例研究都有三个标题，每个标题之下又包含研究目的。这三个标题分别是：

1. 科学主题的信息及案例描述；
2. 理解科学概念与原理；
3. 理解相关科学以及科学家的观点。

在大气压力这一单元标题三下列出的目标具有启发意义。也就是说，学生在学习这一单元后，应该能理解如下与科学和科学家相关的观点：

- 科学假说、原理与理论的含义、功能及它们的内在相互关系；
- 科学与应用科学或科技之间的区别；
- 在科学研究中想法与实验、思考与行动之间的动态联系；
- 推理链中往往涉及多种假设，与假设相关的理论可以通过实验和观察得到验证；
- 科学理论或科学概念的建立应当包含如下因素：实验证据、参与科学家的个人信念以及理论的有效性；
- 以公认的定律与原理的形式呈现对自然现象的科学解释；
- 科学家是拥有众多品质和能力的不同个体；
- 科学是一项国际性活动；
- 科学团体的本质与功能；
- 科学的进步在一定程度上依赖于技术的现状以及科学自身以外的其他因素；
- 科学家以期刊、图书、会议和私人信件的形式进行自由交流对科学的发展至关重要；
- 新发现具有触发效应：它们可以重塑已经确定的概念并产生新的假说和实验；
- 新仪器与新技术是十分重要的，它们可以使对新实验与新观念的探索变成可能。

这个列表同样适用于其他任何HPS课程目标的合理表述，而且所有“科学研究”项目都应该熟知该列表。值得注意的是，这些严谨的、有细微差别的科学特性描述最初撰写于1961年，也就是说，比大力宣扬这些观点的托马斯·库恩的《科学革命的结构》出现得还早。这三人都受益于科南特及他们所参与的哈佛通识教育项目。

HOSC教材不仅旨在提供科学学科教育，同时也提供关于科学的教育，而这常被称为“无形”的结果。参与HOSC教材评论的47位教师中，64%的教师说他们的学生获得了考试无法带来的无形收益。一些教师的评论如下：

- 学生对科学的意义有了新的理解。
- 班级成员的讨论和意见交流比以前更多……我们鼓励学生对社会中的科学与科学家进行批判性评价。
- 学生获得了一种犹如参与大冒险般的体验。

(Klopfer & Cooley 1961, p. 128)

这些无法测量的无形价值与高风险、标准化测试结果同样重要，一部分原因是因为它们往往能够持续更长的时间，并引导学生随后对科学的参与。

大气压力是科学史融入科学教学的成熟案例。学生观点的演化与探究和历史故事间存在自然的进展与相似性。开展克洛普弗案例研究后的30年，英国的琼·所罗门(Joan Solomon)也期望在学校科学中融入历史与社会主题，他针对相同的主题为英国科学教育协会写了一本名为《大挤压》的手册(Solomon 1989)。手册涵盖众多主题，包括古埃及与古希腊、中世纪的泵与风笛、伽利略的观点、伽利略的学生托里拆利用试管装满水制造真空的著名实验以及对水柱上方“空间”的多种解释、托里拆利的水银气压计、帕斯卡(Pascal)将气压计带上山顶记录所支撑的水银高度变化的实验，并提出大气压力是由水银上方空气的重量导致的、冯格里克(von Guericke)的马德堡半球以及波义耳真空泵及他关于“气体弹性”的推测，这些例子都促进了对大气压力的理解。

良好的教学很容易引导学生学习一系列的概念和实验。我们可以从爱克斯廷格(Börje Ekstig)(1990)的文章中看到一系列这样的课程。新南威尔士大学一名大二的科学专业的学生，在接受中学教师培训时阅读了爱克斯廷格的文章，写下了如下内容：

“我是一个物理成绩没有达到高中毕业要求的学生，在我因未通过大学期中考试退学前，只学过半年的大学物理。我无数次对自己说我非常不喜欢物理，也学不了物理。读完这篇文章后，我在思考自己为什么对物理会有如此消极的态度。一方面主要因为我从来没有给过自己认真学习物理的机会。另一方面，我也从来没有听过或读过以如此有趣且切题的方式呈现的物理文章……曾令我困惑的事情现在终于得以理解……因为我认为一般情况下物理留给我的总是一头雾水，所以我坚信它是远远超出我理解范围的。”

(给作者的私信)

这对于专业科学课程中历史教学法的价值来说是一个令人欣喜的证明。有了关于大气压力科学史的知识，学生能够参与到以下问题或探究中：

- 第一，学生可以猜想空气中是否有其他物质，还是说空气本来就是空的。在思考如何检验他们的假设后，教师向学生演示空气是难以压缩的——将空试管压入水中就可以证明这点。将同一个试管灌满水后从烧杯中提起，我们就能看到类似气压计的现象。
- 第二，询问学生试管中承受的水柱高度是否有上限，为什么能撑起水柱。将一根透明塑料软管的一端夹紧，另一端放入一盆水中，随后将其悬挂在一幢高楼上就能回答该问题。
- 第三，学生可以推测较重的液体柱能达到的高度是否会降低，水银柱的预期高度是多少。
- 第四，可以展示气缸内产生的真空及随后内部活塞的运动，并基于此演示纽科门(Newcomen)蒸汽机的基本原理。

通过有效使用作业、实验和论文，HOSC关于大气压力的单元目标和科学情景教学的总体目标都可以实现。科学与哲学、科学与技术的相互作用都可以通过以下内容完美呈现：可以理解亚里士多德的“自然界厌恶真空”的学说；也可以看到这一学说对像伽利略这样杰出的科学家的影响。为了拥护哲学和科学主义，帕斯卡与托里拆利进行了看似错误的实验。教师可以列出他们所付出的努力，同时，通过让学生自己制作原始蒸汽机(纽科门利用冷却引发真空的发动机)，或只制作活塞与气缸，从而让他们体会大气压力在科学发展中所面临的技术困难。

专业—学科教学法

关于学习大气压力这一主题的专业方法可参见 PSSC 的物理教材 (1960)。PSSC 是第一个由美国国家科学基金会 (NSF) 资助的高中科学课程; 这一教材被翻译成多种语言, 被全世界数以百万计的学生使用。PSSC 与哈佛案例研究、HOSC、工程物理及英国教材中提供的上述对待科学史的方法形成鲜明对比。值得注意的是, 在长达 34 章的教材中, 没有一章是专门研究大气压力的, 甚至连大约 1,000 个条目的索引中也没有涉及。教材对该主题内容的呈现以波义耳定律及容器内分子碰撞模型开始, 而没有提及气压。对这个定律的讨论是以假设气压存在为前提, 然而, 对波义耳定律的发展史却没有任何描述, 也没有提及托里拆利或帕斯卡, 更不用说亚里士多德及其“自然界厌恶真空”的学说。波义耳定律是用摩尔概念解释的, 其陈述如下:

在既定温度下, “气体的压强”与“分子数量除以分子所占体积”成正比。

$P=K \times N/V$, 此外 K 为比例系数

显然, PSSC 的讨论没有提及有关气压科学的技术与应用。尽管讨论过在稀薄大气层中 $P-V$ 关系的相应变化, 但没有提及气压计, 而是将其放在本章结束的练习里。在 PSSC 物理项目中, 在解释气压计和天气变化之前, 儿童就能学习气体定律, 那时他们还未将气压计和天气变化的内容联系起来。类似地, 水泵、蒸汽机及其他任何与大气压力相关的技术应用都被忽略了。科学和技术之间极为重要的联系及其对经济转型与社会生活的关键影响在 PSSC 物理教材中被彻底删掉了。20 世纪 60 年代, 不只 PSSC, 还有许多其他改革项目都删去了科学的应用部分。当时一位改革评论家曾说道:

“60 年代由 NSF 资助的所有课程改革项目, 首要变化就是删去了所有技术知识, 以‘一种科学家所熟知的方式’呈现纯粹的科学。只是到了最近, 许多人才意识到这种改革是错误的。”

(Yager & Penick 1987, p. 53)

大气压力科学中的形而上学和物理学

教师对历史的兴趣将会影响一个班级在多大程度上能够通过讨论、重现历史进程引出当下对大气压力的理解。

亚里士多德对空气的研究

亚里士多德是对空气进行哲学和科学探究最早的贡献者之一。他把空气视为五种基本元素之一；空气是所有元素中的一大类，他认为空气不是由不同成分组成的混合物。这点被约瑟夫·普里斯特利与17世纪早期的气动化学家们当成重大“认识论障碍”推翻了¹²。他们经过探究得出空气是一种混合气体的结论（这将在第七章中详细阐述）。重要的是，亚里士多德基于哲学和经验主义，否认自然界中存在真空。亚里士多德提出“自然界厌恶真空”的观点反驳原子论者，而原子论者认为原子之间存在间隙是哲学的基础。亚里士多德否认间隙存在的可能，其主要论点收录在《物理》IV中（马修斯在1989年的论著中进行了重述）。历史学家欧内斯特·穆迪（Ernest Moody）对这本教材的评价如下：

“确切地说，它是中世纪力学的摇篮。对伽利略而言……这本教材有一个不变的出发点。无论是比萨斜塔上的对话，还是对伽利略成就的讨论，都是对亚里士多德关于物体运动的动力学理论教材的批判。”

（Moody 1951, p. 175）

亚里士多德认为，日常经验足以给我们提供充分的理由来说明：运动物体的速度（ V ）与施加的力（ F ）成正比，与运动介质产生的阻力（ R ）成反比。（想象在光滑的路面上和粗糙的沙路上推车。）也就是说：

$$V=K \times F/R$$

在真空中， R 为零，被推动的物体将以极限速度运动。因此， A 和 B 两点间的运动时间将会是0秒。这样的话，就不能说是运动，而是消失于 A 点的同时重现于 B 点。因此，亚里士多德的结论是，真空中没有运动。然而，由于运动随处可见，那么真空就不可能存在。“自然界不可能有真空”这个基本信仰统治了物理学一千多年，而伽利略在他的哲学和科学探究

一开始便开展了与这一信仰的抗争。

这节课从早期希腊人对气压的猜测开始，让人们认识到亚里士多德的科学和哲学方式根植于日常生活经验。作为现代亚里士多德学派，莫蒂默·阿德勒（Mortimer J. Adler）观察后认识到这一点，他在《每个人的亚里士多德》的引言中提到：

“为了努力理解自然、社会与人类，亚里士多德和其他人一样，都是从日常经验中学到的知识开始。他的思想使用的都是我们能掌握的概念，之所以由此出发，并不是因为学校教过我们这些，而是因为这是人类理解任何事情的共同点。”

（Adler 1978, p. xi）

低年级学生观察并体验到的所有现象，远古时期的人们也都非常熟悉。虹吸管可以用于排干液体；移液管或漏壶可以用于转移液体；当然吸管也可以。从所有这些熟悉的现象很容易得出自然界不存在真空的想法。亚里士多德借助于这些普遍的现象，加入一些关于运动与位置的逻辑论证，得出这一持久且有影响力的“自然界厌恶真空”学说。

对该问题另一个方面的讨论也引起了类似的争论：空气有重量吗？通过观察风车、船帆、动物膀胱制成的气球等，古人认识到空间中含有一些物质，即空气；它不是空的。然而，它似乎没有任何重量，事实上它看起来有负的重量——它没有向下沉，而是往上走。亚里士多德认为，物体在适当位置时没有重量（拉丁人会用 *gravitas* 描述重量）。石头和物质有“重量”，因为它们压向地心；空气没有“重量”，反而会“漂浮”，因为它的自然趋势是升入天空——它本来的位置。因此，能够说明空气同石头一样具有重量的主张，将是推翻亚里士多德哲学的重要条款。

在亚里士多德关于运动、天文学、生物学或其他诸多理论中可以发现，从日常经验到科学与哲学学说都经历相同的发展过程。如果理解这一点，那么学生将能够掌握伽利略和牛顿科学革命的最重要特征——在他们构想新科学时，会重新解释日常经验和确定事实；从亚里士多德用熟悉的事物去解释不熟悉事物，发展到牛顿用不熟悉的事物（惯性）去解释熟悉的事物（落体）。

17世纪的争论

至少从1614年开始，伽利略就坚信他通过实验证明了不同于亚里士多德的观点，即空气是有重量的（Drake 1978, p. 231）。他坚持认为空气的重量与虹吸管中水柱高度的极限无关（Drake 1978, p. 314）。他的同事兼学生，埃万杰利斯塔·托里拆利（1608—1647）为正确理解大气压力及解释气压计迈出了第一步。

托里拆利在1643年的实验中，把装满水银的试管倒置在一个敞口的水银槽中，1646年，法国神童布莱兹·帕斯卡（1623—1662）重复了这一实验¹³。水银从试管顶部下降了一段距离，但总保持距槽中水银面上方30英寸或76厘米的高度（见图4.1）。这个实验同时引发了哲学家和科学家的关注（此处使用了不符合当时时代的称呼）：长期以来，一直存在的关于真空的哲学争论似乎被一个简单的实验解决了。而这个实验也能促进当代学生对气压的理解。

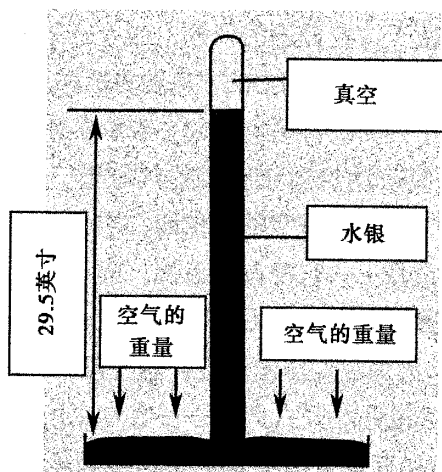


图 4.1 托里拆利真空管

可以向学生展示托里拆利的实验装置——或者现在，在无汞实验室中使用替代装置。不管有没有实验指导，都有两个问题需要回答：

1. 是什么支撑了水银柱？
2. 水银柱上方的空间里有什么？

尽管这两个问题常混在一起，但实际上它们是两个独立的问题。在帕斯卡和托里拆利时代，只有几个人能给出第一个问题的答案：是大气压力

向下压水槽中的水银表面。而其他则否认空气有重量，并提出水银柱受到支撑的其他理由。在回答第二个问题时，许多人否认真空的存在；只有极少数人认为真空是存在的。在17世纪中叶，这四个可能的答案都有支持者。

上述问题可以用下表重新阐释 (Dijksterhuis 1961/1986, p. 445)，不同的答案都有代表性的支持者。

	是	不是
大气压力支撑了水银柱吗?	笛卡尔、帕斯卡	所有亚里士多德学派 罗贝瓦尔
水银柱上方是否存在真空?	罗贝瓦尔 波义耳	所有亚里士多德学派、笛卡尔、伽利略、霍布斯

解决这些争议的关键在于进行逻辑性、技术性与实验性的思考。一些否认大气压力和真空的人认为水银柱下降的原因是液体产生了蒸汽。为了验证这一观点，帕斯卡同时拿出了酒和水并询问他的反对者，在托里拆利真空管中，酒柱与水柱哪个液面下降得更多。他的听众理论道：由于酒易挥发，它将蒸发得更多，因此在试管中下降得比水多。但是当实验完成后，却发现水比酒下降得多。帕斯卡早就知道会是这样的结果，因为水比酒重。因此，他们需要抛弃或者修改蒸发假说。另一些否认真空存在的人则认为，管内遗留了少量的空气。帕斯卡利用不同直径的试管进行实验，确定始终保持不变的是水银柱的高度而不是反对者所假设的空间的体积。这一假设又需要被抛弃或修改。学生可以通过提问、辩论、阅读原始资料了解这些可能，并在学习有关大气压力的同时，学习科学论证与假设检验的方法。这样的历史介绍和真实科学争论的重现，为学生开启了一扇宝贵的学习科学论证的窗口。

该顺序展示了简单观察与科学实验的区别、理论与实验建构的关系以及根据与预期不同的实验结果对理论进行非直接的重新评估。例如，通过简单的改变，“自然界厌恶真空”学说就能与异常的实验结果相吻合：可以解释说水银柱下降的高度变化表示了自然界厌恶真空的程度。大自然对真空的厌恶不是绝对的，而是和周围的物质有关。大自然通过将水银柱提高到一定高度，将其他液体提高不同的高度，以这种方式尽量避免真空。因此，液体柱的高度是对大自然厌恶真空的程度的测量，而非

对压在水槽上的大气压力大小的测量。想要反对这一观点，需要彻底忽略这种假说，并通过科学方法规范地进行排除。

1648年，帕斯卡完成了他最著名的实验。他把气压计带到多姆山上，证实了山的高度越高，水银柱的高度就越低。他认为这是因为山越高，压在水银表面的空气就越少。教师可以鼓励学生想象这个实验，让他们到很高的建筑物或地势高的地方进行实验。帕斯卡的姐夫进行该实验得出的结果和预期一样。他把一个气压计放在山脚下，发现一天当中水银柱液面的高度没有变化。鼓励学生思考控制变量，并通过实际操作了解对照实验在科学（甚至教育研究）中的重要性。实验结果与大气压力假说惊人一致，事实上，帕斯卡将这一实验视为两个学说的决定性实验。

对亚里士多德哲学的基本学说，即“真空是不存在的”假说的反对看起来似乎已经得到证实，同时也证实了空气是有重量的。但是，如同在生活中一样，在科学和哲学中，事情并不总是那么简单。亚里士多德学派反真空理论者很可能会说帕斯卡的实验只是表明，当我们朝着天空走得更高时，自然界对真空的厌恶程度会减少。托马斯·霍布斯（Thomas Hobbes）（1588—1679）和勒内·笛卡尔（René Descartes）（1596—1650）是亚里士多德学派坚实的反对者，他们认同帕斯卡和罗贝瓦尔（Roberval）提出的所有实验证据，却否认实验产生了真空的结论。例如，托马斯·霍布斯在谈及托里拆利关于真空绝对存在的证明时说：

“如果水银下降的力足够大……那么空气将渗入水槽内的水银中，并进入水银柱上方的空间中——也就是那些真空论者认为应该是真空的地方。”

（Shapin & Schaffer 1985, p. 89）

霍布斯和笛卡尔认为上方的空间里充满了稀薄的物质和微小的颗粒¹⁴。教师提醒学生真空意味着没有气压或者压力非常小，液体会蒸发并在低压下沸腾，此时学生有可能发现水银上空出现细小物质。在上述所描述的真空中，水银确实会蒸发。

方法论的经验

在前面提到的发展的每一阶段，科学的运动规律出现了从明显的证据到看不见的机理的基本转变。学生可以简单地重复搜集证据、猜想和

测试的过程，从而理解科学假设及评估的本质¹⁵。这样做，他们可以学到关于科学本质的更多内容。

早期大气压力的探究史揭示了以下事件的困难与复杂：以一种所有对立理论都可以接受的方式来描述证据；形成可检验的经验性假说；测试假说；在适当对照下设计并进行实验；给出相反的证据反驳假说；通过解释相反证据来巩固自己的假说。对科学史的讨论可以引发如此核心的、多次提及的哲学问题，正如重要实验的可行性（参考 Duhem-Quine 论题）、基于对立证据（参阅 Popper、Lakatos）区分临时性与合理性的理论变更，以及形而上学在维护科学理论中的作用一样（参阅 Burtt 和 Buchdahl）。科学社会学的问题也可以在这种教学方式中进行讨论。一个研究者对另一个研究者的依赖可以从伽利略对托里拆利的影响、冯格里克对波义耳的影响中看到，进而理解在科学中开放交流与坦诚相待的重要性。

多数学生对科学理论检验的初步理解是最原始的假说—演绎法：

理论 (T) 蕴涵着观察 (O)

O 发生

因此 T 被证实

或者

O 不会发生

因此 T 是错误的

上述表明，这一简单的观点需要考虑一些更详细的内容：即理论与理论提出时的初始条件 (C) 一同构成了检验环境。因此我们有：

T 和 C 同时指向 O

如果否定 O

那么否定 T 或否定 C

但这仍然过于简单，因为检测还包含了对试验装置与测量工具 (I) 可靠性与有效性的假定。因此，我们有：

T、C 和 I 都指向 O

如果否定O,
那么, 否定T, 或否定C, 或否定I

当科学实验中假定了形而上学(M), 我们将处于如下情形:

M、T、C和I同时指向O
如果否定O
那么, 否定M, 或者否定T, 或者否定C, 或者否定I

这种论证结构将在第六章关于地球形状的争论中详细阐述。

批判性思维与缜密推理的教育目标可以通过历史研究方法实现, 因为这种方法可以激发学生思考。一位精通所教主题历史的老师能够发现学生什么时候正在进行与先前科学家一样的智力活动, 并且能够鼓励学生重新思考早期的争论。这也使学生能够理解早期科学家的成就与错误, 甚至产生共鸣¹⁶。

对科学史的反対

将历史融入科学教育遭到了两方面的反对: 历史学家认为科学课堂中的历史要么是贫乏的, 要么是捏造的用以支持当前科学观念。科学家认为科学史占用了本该用于教授科学的宝贵时间, 并且认为历史可能会逐渐削弱学生为发现世界真相而付出努力的信心。1970年, 在由国际物理教育委员会(International Commission on Physics Education)(Brush & King 1972)发起的麻省理工学院会议上, 双方提出了各自的观点。

伪历史

马丁·克莱因(Martin Klein)认为, 科学教师选择和使用历史材料是为了推动当代科学或教学目的的发展, 但这样的选择却违背了真正的历史。由此, “试图通过历史方法来教授物理, 或至少借助历史方法的帮助, 我们确实面临着对物理学或物理学史、或两者都不公平的风险”(Klein 1972, p. 12)。他赞同并引用了亚瑟·洛夫乔伊(Arthur O. Lovejoy)的告诫:

“历史学家越是着眼于当前历史所产生的问题，或者由当下的哲学或科学概念材料形成自己的探究，就越有可能成为一个糟糕的历史学家。”

(Klein 1972, p. 13)

片面的方法或选择性的方法造成的结果是：

“几乎必然是糟糕的历史。从某种意义上说，学生对过去那些物理学家关心的问题、他们的工作环境、那些说服或没有说服他们同时代人接受的新观点的论据完全没有自己的想法。”

(Klein 1972, p. 13)

克莱因进一步提出科学事业与历史事业存在根本不同，这使得它们是最不可能结合在一起的，就算这种结合发生了，也是短暂的暴风骤雨式的结合：

“物理学史很难满足物理教学需求的一个原因是：物理学家和历史学家的观点有本质的区别……很难想象将历史学家为之奋斗的‘事实复杂性’与物理学家寻求的‘直接的洞察力’结合起来。”

(Klein 1972, p. 16)

为证明这一历史性观点的正确以及为什么历史应置身于科学课堂之外，他重复了赫伯特·巴特菲尔德 (Herbert Butterfield) 的劝诫：

“当历史学家描述过去时，他必须尽可能找回当时那一刻的复杂性……不仅不能清除它们，还要将具体的、特别的、个人的瞬间聚集在一起。”

(Klein 1972, p. 16)

克莱因还提到了奥特·纽格伯尔 (Otto Neugebauer)。和巴特菲尔德一样，他是一位经典科学历史学家，坚信历史学家的作用在于恢复历史的复杂性。纽格伯尔在其《古代精确科学》(Exact Sciences in Antiquity) (1969) 中写道：

“我认为，把复杂的历史过程压缩为一些‘文摘’或‘摘要’，不是历史文章的目的。相反，我明白历史研究的主要目的在于揭示与人类历史发展各阶段密切联系的丰富现象，从而反对过于简单的

自然倾向及忠于无知的哲学建构。”

(Neugebauer 1969, p. 208)

克莱因的结论是，如果好的科学教学包含历史观点，那么它将会被糟糕的历史所充斥。相对糟糕的历史，他更倾向于没有历史。

类似历史 (Quasi-history)

惠特克 (M. A. B. Whitaker) 在其题为《物理教育中的历史和类似历史》(Whitaker 1979) 的文章中分两部分进一步推进了这些观点的发展。同克莱恩一样，他关注的也是如何鉴别那些为了迎合教学法、科学意识形态或作者的科学观点而流行的伪造历史。这些案例在教科书中比比皆是。

伴随着光电效应和光的波动理论之间的认知矛盾，一个经常讨论的例子是对爱因斯坦光子假说的诸多解释。光电效应是指当光照在真空中的两块板其中一块上时，两板之间会出现明显的电流。根据教科书的标准解释 (PSSC 1960, p. 596)，光电效应的一些反常方面——如发射电子的能量不依赖于光的强度，产生光电效应的频率阈值与光的强度无关——直至19世纪末都无法用传统光波动理论进行解释。在传统理论中，光强是光能量的量度，因此，对于任何频率的光，只要有足够的强度，都应该能够产生光电效应，然而事实却并非如此。

标准解释认为，1905年爱因斯坦的光子理论及其基于普朗克的启发得到的公式 $E=hf$ (一个光子的能量等于一个常数乘以光线频率)，提出了一种解决异常现象的极好的方法，并成为新时期放射物理学的先驱。关于光粒子理论与波动理论的早期争论采用折中的观点来解决，即把光波看做是“打包”成束的，也是粒子状的。这种说法强化了爱因斯坦的公众和科学形象，它与科学理论中的假说—推理模型一致，强调科学的理性并且展示了科学工作的进步。换句话说，在这种标准解释中，不存在干扰科学家与公众持有的关于科学进步理性的、系统的及必然的科学图景的内容。而关于这种解释的唯一问题是：真实的历史从来不可能这般顺畅。

多年来，勒纳、汤姆森和洛仑兹这些有名望的科学家都对光电效应进行了解释，聚焦的不仅是光束的性质，还有原子内部结构与运动（光

触发的共振效应)¹⁷。这些解释同爱因斯坦独特的假设一样有效。量子理论的创始者普朗克，在他1912年关于热辐射的书中否定了爱因斯坦的“打包”或光子解释。罗伯特·密立根 (Robert Millikan) 因为证实了爱因斯坦1905年的假说获得诺贝尔奖，他在自传中说道：

“我认为爱因斯坦关于光脉冲的观点——或者我们现在称为光子的观点——直到1915年一直没有忠实的拥护者……甚至在早期阶段，爱因斯坦自己都没有确凿有力的证据来为之辩护。”

(Millikan 1950, p. 67)

在原始出版物发表16年后，直到1921年爱因斯坦才获得诺贝尔奖，从这一事件上也可以看出大众对爱因斯坦的假设并不热衷。这表明科学团体在理性转变中的表现是迟缓的。即便开始出现支持者，他们支持的也是爱因斯坦方程，而不是他对方程的物理阐释——这二者之间有很大的不同。1916年，密立根写道：

“尽管爱因斯坦方程取得了巨大成功，然而关于它的物理理论……我相信，如果理论真的如此经不起反驳，那么爱因斯坦也不会坚持它。”

(Pais 1982, p. 380)

韩礼德 (Halliday) 与雷斯尼克 (Resnick) 的物理教材非常受欢迎，该教材对1916年密立根关于爱因斯坦光子理论的实验证明进行了大量描述，宣称他的实验“验证了爱因斯坦观点的每一个细节”。但实验只是再一次证明了爱因斯坦的方程，而非爱因斯坦的理论——即便是对方程的证明（把发射电子的能量与激发光的频率联系在一起），也远远没有将其解释清楚。很多实验物理学家解释爱因斯坦的数据，认为能量随频率的平方变化，或随频率的三分之二次方变化，甚至认为它与频率无关 (Kragh 1986, p. 74)。密立根的数据除了解释能量随频率变化之外，对各种数学上的解释都是开放的。这一数学方程式并没有包含物理解释，不能证明光以小束的形式传播。

克莱因和惠特克对科学教材中存在大量历史错误和偏见的指控得以证实。为什么会存在这些不准确的内容是一个有趣的问题，这一问题的答案将会揭示科学教育的意识形态和教材的功能。惠特克提到类似历史时认为：

“大量书籍的作者为了使自己的作品显得更加生动会添加一些‘小插曲’。事实上，作者只有很少的历史学背景，最终的结果是改写了历史，让历史一步一步更符合物理学的需要。”

(Whitaker 1979, p. 109)

惠特克没有认识到这样的历史其实是为了支持作者的科学观点而做出的有意识的改变：

“我不认为类似历史的作者一定有哲学意图，他们甚至是无意识的。我认为类似历史通常是一种更有误导性的意图，用以方便教与学，使教学显得更有秩序和逻辑。”

(Whitaker 1979, p. 239)

惠特克追溯类似历史的错误，导致他忽视了“科学的公共与社会本质”。

类似历史不仅仅是克莱因所说的伪历史或简化的历史，其中可能有疏漏错误，或者故事可能不符合“真相、全部真相、只有真相”这样的高标准；类似历史是指我们对伪历史进行加工使其成为真正的历史。这类似于拉卡托斯(Lakatos)对历史的“合理重建”(Lakatos 1971)。对拉卡托斯而言，历史故事被贴上了“合理重建”的标签，历史人物则被涂上了当代正统方法论的色彩。伽利略已经成为了这种方式的典型代表：在经验主义教材中他是一个经验主义者，在另一些教材中却是工具主义者，在其他一些教材中他又是理性主义者。伽利略已经成为一个能够代表所有哲学的人物，关于这点第六章将进行更细致的阐述。类似历史是一种历史的替代，因为历史是无法作用于现在的。如果历史学家按照自己先入为主的哲学立场来严格挑选和解释历史材料，那么这些已经被重建过的数据很难对哲学立场做出适当的评价。

直到1912年，人们才接受阿尔弗雷德·韦格纳(Alfred Wegener)“大陆漂移假说”中提出的板块构造原理。很多历史、哲学与科学论文对这个沉寂数十年之久才被接受的假说进行论述，这极好地解释了惠特克所指出的类似历史的问题¹⁸。这个假说最终想要得到认同，要么能够提出新的证据，要么能统一迄今为止大量完全不同的数据。相反这个理论之所以被抛弃，是因为它留下无法解释的数据比能解释的数据还要多。一位评论员指出：

“然而，通过仔细阅读历史记载，我们无法证实任何‘拒绝’或者‘接受’的决定是基于上述原因做出的。我想说这其中的问题在于，科学哲学家在决定是否接受某个理论的时候总带有一些先入为主的一般标准。他们在阅读关于这个理论的发展史的时候，会刻意去选择那些能够证实他们预想的事件。”

(Ryan 1992, p. 71)

摧毁信心

反对科学史融入科学课程的第三个原因是认为它削弱了初学者的科学精神。在麻省理工学院的会议上，历史学家哈罗德·伯斯汀(Harold Burstyn)从学生的不同观点，而非教师或专业历史学家的观点阐述了克莱因的问题。伯斯汀告诫说：

“许多证据(包括我自身向科学专业的学生教授科学史的经验)表明，科学专业的学生与其他专业的学生拥有不同的世界观。往不好的方面说，科学专业的学生都在寻找‘正确’答案，他们是‘思维求同’的，而不是‘思维发散’的思想家。克莱恩所指的问题是：事实上，可以用复杂、发散且不严密的历史材料去教那些喜欢获得正确答案的人吗？如果他们成功了，就真的能够达到历史学家最初想要传达的目的吗？由此来看，在某种程度上，历史是否在颠覆物理教学的目标呢？”

(Brush & King 1972, p. 26)

1959年库恩在关于科学创造力的会议上讲话时发出这一谴责(Kuhn 1959)，并在他极受欢迎的《科学革命的结构》第一版(1962)和第二版(1970)中进行了重申。在会议报告中，他注意到这一事实：

“这种科学教育最显著的一个特点就是：它完全按照教科书来执行，毫不涉及其他领域。通常情况下，化学、物理、天文学、地理或生物学的本科生和研究生从专门为他们所写的书籍中获取所学领域的知识内容。”

(Kuhn 1959, p. 228)

他发现，科学专业的学生通常未被鼓励和要求去阅读所学专业的经典历

史作品，“他们可能通过其他方式来讨论教材中的问题”（Kuhn 1959, p. 229）。所有这些在求同思维方面形成了一种缜密的训练，库恩认为“若没有这一点，科学就无法获得目前的状态或地位”（Kuhn 1959, p. 228）——这一点与恩斯特·马赫关于科学进步所需要的教学法的观点是不一致的。库恩通过结论证实了这一训练的合理性：不仅培养出了好的求同思想者，还培养出了一小批改革者与创新科学家。如果没有彻底正统学科思维的渗透，就不会有这些创新科学家的产生。这些观点在库恩的会议发言与随后的著作《必要的张力》（1971/1977）中提出。库恩在他的《科学革命的结构》一书中阐述了这些观点。他说，科学课堂中的科学史是扭曲的，早期的科学家被描绘成同现代科学家一样在解决同一系列的问题，这样正在培养的科学家才能感到自己是成功寻求真理传统的一部分（Kuhn 1970, p. 138）¹⁹。

斯蒂芬·布拉什（Stephen Brush）在《科学史是否应被定为X级》（Brush 1974）的论文中进一步发展了库恩的说法。顺便提一下，文中有一点认为科学史可能会对学生产生不良影响，因为它削弱了科学定理的确定性，而确定性对正在培养的科学家坚持完成一项困难任务来说是必须的。他告诫老师们：

“对于那些想要教导他们的学生说科学家是传统的‘中立事实的发现者’的教师来说，他们不应该采用科学史学家准备的科学史材料：因为这些材料无法为该目的服务。”

对科学史的捍卫

对克莱恩-惠特克-库恩（Klein-Whitaker-Kuhn）的指控是很严重的，但并不致命；他们主要的关注点并未放在把历史排除在科学课程之外。这里将会简短重述这些指控并在下文做出评论。

指控 I：科学和历史是非常不同的知识学科，因为前者寻求简洁明了、忽略无关情况，而后者推崇并寻求复杂性。因此，若将历史引入科学课堂，会发展成两种相互对抗的精神观念。

首先，倘若这一指控是真的，那这是否真的是一件不幸的事？不同精神观念的培养应该也是教育的目标。一门好的学校课程提倡多种观点、

鼓励提出处理问题的多种方式；因此，学生必须学习数学、文学、艺术、历史、科学，也许还要学习道德、公民学和宗教。问题在于一堂课中需要培养不同的思维习惯，不过就算如此也不应该成为问题。英语老师有时会鼓励创意与自由表达，而有时却提倡机械式的学习与思维训练，有时还会提倡情感理解与道德理性。当然，英语教师需要提供文学分析的历史与政治背景。没有关于19世纪英国社会及经济的相关知识，能理解狄更斯（Dickens）的小说吗？没有20世纪左翼和右翼的极权主义知识，能理解奥威尔（Orwell）的小说吗？不应该把这些不同的观点视为英语教师培养具有文化修养的学生这一整体任务中的破坏性因素。相对于英语教师而言，科学教师不必如此担心课程计划中这些异质性因素。进一步说，我们有许多跨学科课程的成功案例，避免了这些假定的陷阱，并达成了通识教育的一些目标。

不仅历史给科学课堂带来了知识上的冲击，道德与政治也日渐被视为科学教育中合理、必要的组成部分，这在许多STS与社会性科学议题（socio-scientific-issues, SSI）课程中表现得很清晰。围绕着科学课程的开发，道德性和政治性的问题——如污染、替代能源、对自然环境的保护、可持续发展等成为重要的主题。这些课程要求学生在一堂课中用科学的方法来思考道德和政治。此外，除了STS课程，英国国家课程，《2061计划》等其他主流课程的开发也要求科学专业的学生能从多种视角来思考主题内容。反对历史进入课堂的论据同样也反对这些内容融入科学课堂。然而，在这些观点中，除了教学大纲规定的时间不够，并没有其他什么实证依据；反之，包含更宽范围思考的做法却有很好的教学依据。

第二，科学研究方法与历史研究方法间的区别真有所谓的那么大吗？在某一层面上，克莱恩认为历史寻求复杂性并且包容全部的看法是错误的：所有的历史文章都是经过选择的。事实上，克莱恩是实证主义者，他经常提出历史是发现事实这一说法。19世纪著名历史学家兰克（Ranke）提出，历史的任务是“简单地呈现事情是如何发生的”。这个观点要么是夸张的，要么是愚蠢的，抑或两者兼有。卡尔（E. H. Carr）就此提出了众所周知的批判性观点（Carr 1964）。

简单而言，历史不能告诉我们全部事情，它必须是经过选择的。铁

路在英国的发展史会合理地忽略电影院的发展，侧重与铁路相关的一些事情，而有一些事情是多余的，如：火车的赞助、到达和离开、平台的建筑风格、劳动力及其成本、铁路的餐饮、钢铁的订购，等等——这些都要经过选择。一个历史学家不是档案管理员：档案管理员的工作可能是存档所有的时间表、菜单、书单等（即便这些也还是涉及什么是有用的筛选）。历史学家被认为是有选择性地做一些历史记录。这样说是为了反对简单的实证主义历史观，并不是为了支持那些极端后现代主义者“历史全部都是建构的”这一说法，当然也没有任何事实材料可以证实这一观点。

假定在脑海中提供一些目标，并提供一些包含原理或排除原理是有效的，那么对正确的日期、对所有相关回应的关注、对不同版本间的变化以及其他学术努力的检查，这些细节可能是极为重要的。科学家抛开自由落体球的颜色、质地与成分，用一个单一的质点代替这些丰富的内容；历史学家也必须撇开历史事件的一些丰富的内容去寻找与所讲故事的本质密切相关的东西。从这个意义上讲，这两个学科并非完全不同。一篇学术文章可能专注于研究树，但在课堂和学生教材中，不应该只关注几棵树以致忽视了森林的存在。

指控Ⅱ：不可避免的，应用于科学课程中的历史是伪历史，历史正以这样的功效服务于科学教学。

这种说法是第一种观点的变体，并不能威慑科学教师。它显然混淆了撰写历史与历史在科学课堂中的应用。除了一些典型的例外，如韦斯塔韦（F. W. Westaway）和霍姆亚德（E. J. Holmyard），科学老师并不是历史学家。在撰写历史的过程中可能为了特殊的目的导致对历史的曲解。有目的的写作不应该导致伪历史。而科学老师应用历史可能是为了达到教学目标，并且科学教师对历史的应用不同于专业历史学家的判断标准——两种活动是极为不同的。

需要记住的是，科学教学不是历史研究，它是不同的活动，有不同的目标并对成功与真实性有不同的衡量标准。当将历史应用于科学教学时，历史研究所需的复杂性这一标准就用错了地方。在教学中，历史主题需要简化。科学史的真实性如经济或科学本身。教学的任务并不需要对历史事件的全描绘，而是要提炼一段简化的历史用以阐明主题并激发学生的兴趣。简化应该与所教群体的年龄以及课程设计的整体性相关。

历史的复杂性可以按照教育情境的需求而定。指责小学教师讲授传记是对他们的误解，因为他们在试图激发学生对科学史重要人物的兴趣；指责中学老师简化遗传学史也是对他们的误解，因为他们在试图以一种有趣的、可理解的方式向青少年讲授遗传学。教学艺术在于简化学科主题与历史故事，采用这种方式接近与扭曲历史在教育上是良性的、无害的。

这种艺术产生了李·舒尔曼（Lee Shulman）命名的“教学内容知识”（pedagogical content knowledge, PCK）（Shulman 1986, 1987）和欧洲教学传统中所说的“换位教学”²⁰。日常的课堂教学实践是通过优秀的教师把整齐划一的专业知识转化成可以教学的课堂知识实现的。正如舒尔曼所说，PCK要求学科专家了解“类比、插图、示例、讲解及演示等最有用的形式——总之一句话，学科呈现及表述形式的目的在于让他人理解”（Shulman 1986, p. 6），这一点是非常明智并值得称赞的。然而，舒尔曼的观点遭到了更多建构主义者和后现代主义教育者的批评，因为它以“一种本质上的客观主义认识论著称的”，而且它“主要聚焦于教师具备的技能与知识，而不是学习的过程”（Banks et al. 2005, p. 333）。

考虑到这些问题，历史是一个有利于PCK的因素。赫尔吉·克拉格（Helge Kragh）清晰地表达了对历史的辩护：

“在某一教育环境下，历史要想融入课程，必然要进行或多或少真实的修改。在对历史数据进行实际运用的情况下，只要历史数据不是为了意识形态的目的或违反事实，那么就没什么不合理。”

（Kragh 1992, p. 360）

指控Ⅲ：由于科学教师的目的与局限，应用于科学课程中的历史有可能是类似历史。

首先，正如前面所说，类似历史中有很多是真实的，并且对倡导应用历史的人来说是一种及时的告诫。“修正主义”的历史问题不仅在政治领域臭名昭著，而且会破坏学校历史拓展思维的目的。我们知道，官方的历史会随着领导党派的变化而变化。从1991年8月开始，苏联历史被付之一炬，整个苏联联盟学校的历史课程全都被改写。尽管勇敢的非后现代历史学家三郎家永（Saburo Ienaga）提出了法律诉讼，日本学校的官方历史教科书仍重写了太平洋战争的历史，这一时期的史实被大幅删

掉，只提到日本为亚洲经济增长所做的努力。美国许多历史书中，关于“西部开发”、对墨西哥领土的征服、1905年西班牙—美国战争、越南战争以及劳工史等等，都是由意识形态驱动导致了对历史记录扭曲。还有很多众所周知的因为民族、宗教和商业利益而改写的大量的中东历史。

鉴于科学及其成果的重要地位和不同的政治和意识形态群体撰写科学历史时把自己的群体视为优胜者，并将科学成就归于自身，这不足为奇。纳粹党人写了雅利安人的科学史，是想说明犹太科学家所做的研究要么极差，要么偷窃了德国人好的观点（Beyerchen 1977）。苏联编写了表现自己意识形态的科学史（Graham 1973）。在教会与科学的战争史上，双方都编写了有利于自己的历史。有时这种扭曲是明显的，有时没那么明显。许多人声称，迪昂科学不朽的历史与庞加莱的案例研究都被影响，且有人说他们都妥协于他们所在的天主教会（Nye 1975, Paul 1979）。毫无疑问，科学史中的讹传与意识形态比比皆是，正如他们在政治、社会和宗教历史中所做的那样²¹。对每个人来说，认识到这点并在课堂中谨慎行事是有益的。美国历史学家霍华德·金恩（Howard Zinn）很好地表达了这一点：

“当我开始教学和写作时，如果客观意味着回避一种观点，那么我对‘客观性’不抱任何幻想。我明白一个历史学家（或记者，或任何讲故事的人）都会被迫从无数的事实中选择哪些是要呈现的，哪些是要忽略的。而且不管是有意识还是无意识，这一决定必定会反映历史学家的利益。”

（Zinn 1999, p. 657）

指控Ⅳ：好的历史研究会逐渐腐蚀科学信仰。

这是一种经验性的表述，因为证据是微不足道的。作者多年来一直在教授“科学教师的历史与哲学”这门课，并没有看到任何有害的结果。事实上，诸如“教师急需这些信息”、“我从来不知道伽利略做过这样的事情”、“这使我想更好地去教科学”这些评论是非常常见的。爱因斯坦的好友贝森（Besso）赠予他马赫的《力学史》，爱因斯坦的经历可能更为典型：历史描述使爱因斯坦对科学的贡献更加生动。当然，为使历史有意义，教师需要掌握科学知识和技术体系，但没有证据表明历史研究

阻碍了科学知识与技术的掌握。相反，19世纪70年代，成千上万学习哈佛大学物理教材（HPP）的学生对学科知识掌握的深度让人印象深刻，并且与库恩悲观主义的观点相矛盾。同样，克洛普弗和库勒在高中案例研究中更多未公开的证据表明，历史激发了学生的兴趣，加深了他们对科学的理解。除了有效性主张，在学生对科学的假定认知变成对科学真实历史认知的过程中还包含着重要的教育主题（Siegel 1979）。这一点很快被合并到教育教学的主题中。

科学史与学习心理学

在评价科学史应用于科学课堂的作用时，除了所有上述课程和教学考虑外，还有一个重要的理论问题，即假定科学史与儿童概念发展转变存在着共同的认知机制。众所周知，让·皮亚杰（Jean Piaget）将科学史与他在个体心智成熟过程中对“调节”与“同化”的心理学解释联系在一起；他提出了关于“胚胎重演律”的解释²²。用皮亚杰的话说：“发生认识论的基本假设是知识在逻辑、理性组织方面的进步与相应的形成性心理过程是平行的”（Piaget 1970, p. 13）。

皮亚杰的研究转而应用于HPS共同体中，这一点由库恩在他1962年出版的《科学革命的结构》（第一版）的前言中提及：

“一个偶然读到的脚注使我关注到了皮亚杰的实验，他的实验点亮了儿童成长的多彩世界以及儿童从一个阶段转变到另一个阶段的过程。”

（Kuhn 1970, p. 6）

十年后，库恩再次表达了对皮亚杰的感谢：

“我所知道的关于如何向已故科学家提出问题的知识，部分得益于皮亚杰对活泼的孩子们的行为实例的仔细分析……我从皮亚杰对儿童的分析中学会了理解亚里士多德的物理学。”

（Kuhn 1971/1977, p. 21）

当亚历山大·柯瓦雷（Alexandre Koyré）告诉库恩，“是亚里士多德的物理学教会了他去理解皮亚杰的儿童”（出处同上）时，这种联系被进一步

加强了。

这一重复的主题得到了全面的研究与讨论。关于儿童对自然与天文学的思考、他们的推理、概念习得、心理成长、认识论与科学思想已有成千上万的研究²³。不足为奇的是，所有这些研究中的一个共同主线是认识到认知是社会性的，“我认为”依赖于“我们认为”。我们的思想和概念是用语言表达的，因此我们需要一定程度地参与社会团体。概念习得的抽象理论之所以失败是因为它们是循环的，我们不能像鲁滨逊·克鲁索（Robinson Crusoe）一样，从一系列困难的事情体验中抽象出“困难”，因为除了困难，总还有其他特性存在，概念早就赋予我们了。

如果有一项研究能够被认为是皮亚杰派/库恩派关于概念转变研究的主体与科学教学之间的联系，那么该研究只能是波斯纳（Posner）等人（1982）的《科学概念的适应性：建立概念转变的理论》。它在很大程度上引用了库恩、图尔明（Toulmin）和拉卡托斯给出的关于科学理论转变的解释。他们提出，发生个人概念转变或学习的四个必备条件：

1. 必须要对现有概念不满。
2. 提出的替代概念必须是可理解的。
3. 新概念必须是合理的。

4. 新概念必须能解决旧问题和新问题，它必须为丰富的研究项目提供可能性²⁴。

这一研究及其他研究引发了成千上万的课堂和实验室对概念转变进行干预及研究。

十年后，斯特赖克（Strike）和波斯纳（Posner）指出了一些被该领域的研究者忽略的东西，即他们原先的概念转变理论“很大程度上是一种认识论理论，而不是一种心理学理论……它植根于那些能够被认为是好理由（good reason）的事物概念中”（Strike & Posner 1992, p. 150）。他们的原始理论关注的是“理性信念的形成”（p. 152），没有“描述学生思维或任一学习规律的典型运行方式”（p. 155）。他们关于个体学习的理论基于托马斯·库恩、伊姆雷·拉卡托斯和斯蒂芬·图尔明提出的对科学变化的历史与哲学分析。一旦斯塔克和波斯纳聚焦于“理性”概念的转变，那么很明显哲学就介入了心理学范畴²⁵。这一观点至少可以追溯到亚里士多德时期（Jastrzebski 2012），并在内德·布洛克的重要选集《心

理学哲学》的前言中得以阐述：

“很明显，思维的哲学发展很大程度上得益于心理学许多领域的知识，同时心理学的发展也得益于哲学知识……许多关键问题不属于哲学或心理学某一个学科，而是在两个学科中同等重要，因为它们反映了这两个领域的传统关注点。这些问题只会在那些精通哲学的心理学家或精通心理学的哲学家中产生。”

(Block 1980, v)

当然，这也支持了本书的论点，即科学教育中许多理论问题需要HPS的融入才能得以解释与解决。

结论

科学在塑造现代世界的物质、技术、宗教和文化方面有着巨大的影响，反过来科学也会受到这些社会方面的影响。现代科学是人类进步的主要成就之一。我们看到周围世界大大小小的物体构造，并且越来越了解我们自己的身体、大脑、健康、生活环境及与我们一起生活的其他物种。科学教育的专业目的是把学生引入科学领域的概念和过程中。而之前讨论过科学史有助于这一引导。但科学教育还有一个更宽泛的目的，就是要帮助学生了解科学——不断变化的科学方法、科学的组织形式、科学的证明方法、科学与文化的相互关系，等等。我们曾讨论过，科学教学需要情景方法和历史方法。

历史的综合作用也许在于其对科学教育的基本价值。历史可以让科学学科中看似无关的话题相互联系起来——布朗在最初尝试证明生物学中的生机论时（甚至包括布朗早期在澳大利亚的植物学工作）发现了布朗运动，爱因斯坦通过对布朗运动的分析证实了原子假说。历史还连接了跨学科的科学主题——DNA密码的揭示连接了地质学、晶体学、化学和分子生物学。历史研究呈现出不同知识领域之间的相互联系，例如，牛顿力学发展过程中，数学、哲学、神学和物理学都起到了部分作用。达尔文理论依赖于地质学、植物学、化学、动物学、哲学、神学和遗传学的进步。最后，历史还加深了学术知识领域与经济、社会和文化因素的相互联系。达尔文进化论影响着宗教、文学、政治理论和教育实践，

同时也被它们影响。历史性的呈现可以把各个看似独立的主题汇成学科的一部分，并把各部分连成知识网络。让学生形成这样的网络图景是通识教育关注的核心。从某些方面来说，科学教育的文化意义在于从某种程度上帮助学生形成人类成就相互交织的愿景（Suchting 1994）。

与大多数教育一样，教师是成功开展科学史教学的关键。教师必须对历史感兴趣，并接受适当程度的历史培训。如果他们做好了这样的准备，那么无论是通过正式的还是非正式的、计划的还是非计划的途径，历史都将有助于科学教育的专业目标与文化目标；若教师没有这些准备，仅仅是通过立法或是将历史纳入到课程中，那么都将收效甚微。正如大家经常说的那样，好的教师可以拯救糟糕的课程，而糟糕的教师则可以毁掉最好的课程。

【 注释 】

1. 关于弗莱克的著作和观点，请参阅Cohen和Schnelle的论文集（1986）。
2. 历史的“整合”作用将在单独的章节单摆运动（第六章）和光合作用（第七章）中阐述。
3. 美国科学教育中历史地位的跌宕起伏可参见Brush（1989）和Klopfer（1969a, 1992）。考夫曼（1989）专门探讨了历史在化学教学中的应用。
4. 参见Sammis（1932）、Oppé（1936）和Jaffe（1938, 1955）的文章，以及由Jaffe编写的，多次印刷的教材（1942）。
5. 早期对库恩理论批评性的解释，见Gutting（1980）、Lakatos和Musgrave（1970）、Shaper（1964）以及Shimony（1976）。这些并没有减少学术界对库恩几近失控的热情。关于“库恩与教育”，见Fuller（2000）、Kindi（2005）和Matthews（2000b, 2004）。
6. 这是1950年发表在美国物理教师协会的一篇演说——《科学的历史感》（Cohen 1950）。当他获得科学史博士学位后——这是美国授予的第二个科学史学位——科恩从事通识科学课程的教学，并为PSSC物理委员会学校撰写了《新物理学的诞生》（Cohen 1961），这是他最畅销的一本书。
7. 第一个版本包含了八个案例：三个生物学案例——植物的性别、青蛙和电池、细胞的生命；两个化学案例——溴的发现、二氧化碳的化学；三个物理案例——弗劳恩霍夫线、光速、大气压。
8. 约瑟夫·施瓦布与芝加哥大学建立了长期联系，并被芝加哥大学“伟大的著作”这一传统所影响。他与库恩处于同一时代但与库恩的思想不同，他阐述了科学探究“不确定”时期与“稳定”时期的区别，这与库恩著名的“革命性”科学与“常规”科学理论并行（Siegel 1978）。他的文章节选在Ford和Pugno（1964）以及Westbury和Wilkof（1978）的著作中。关于他的工作和成就的综述在DeBoer（2014）的著作中可见。
9. 哲学家、历史学家威廉·休厄尔（William Whewell）是倡导将科学史普遍应用于教育的先驱之一（Whewell 1855）。这个传统已由Bill Brock（1989）、Edgar Jenkins（1979, 1990）和W.J.Sherratt（1983）写入文件中。
10. 这些报告的主题备受争议，一些被贴上了“科学教育的替代品”的标签（Jenkins 1998）。

11. 对伽利略关于潮汐的错误理论的讨论, 请参见Brown(1976)和Shea(1970)的著作。
12. 这是加斯頓·巴舍拉尔(Gaston Bachelard)(Bachelard 1934/1984)在识别关于科学探究根深蒂固的概念障碍时所用的表述。这些类别完全阻碍了探究的方法, 并形成了其他形式。路易斯·阿尔帝塞(Louis Althusser)(Althusser 1969)阐明并应用了这一观念。
13. “托”是真空测量单位, “帕斯卡”是国际压强单位, 我们今天还沿用他们的名字。
14. 对16世纪关于真空争议的讨论, 参见Schmitt(1967年)。
15. 对非实在论, 将在第九章阐述, 无形机制的假定只是为了方便起见, 它们是一种与现象规律建立联系的简略的或方便的表述方式。
16. 大气压的科学史是复杂的, 专家对气压各方面的理解存在不同看法。大气压的科学史研究起始于Middleton(1964)。关于霍布斯和波义耳, 对波义耳著名空气泵实验的争议, Shapin与Schaffer(1985)提供了大量关于科学与哲学相互作用的案例研究。
17. 对光电效应的解释, 见Kragh(1992)。
18. 关于这一事件, 参见Dolphin和Dodick(2014)。
19. 关于库恩的科学教育观点, 参见Andersen(2000)、Kindi(2005)、Matthews(2004)、Siegel(1979)及Matthews的文章(2000)。
20. 1975年社会学家米歇尔·弗雷特(Michel Verret)引入了这一表述, 并由伊夫斯·切瓦劳德(Yves Chevallard)于1985年在其著作《教学论的迁移》中进行了详细阐述。
21. 见Kragh的著作(1987)中第十章对这种影响的概述。
22. 皮亚杰的立场在皮亚杰和加西亚(Garcia)(1989)的著作中阐述得最为充分。见Franco和Colinvaux-de-Dominguez(1992)的著作及Strauss(1988)的文章。
23. 其中较知名的著作包括: Carey(2009)、Gopnik(1996)、Kitcher(1988)和Vosniadou(2013)。研究的传统见Dunst和Levine(2014)的论著。
24. 有一些文献见: diSessa和Sherin(1998)、Limón和Mason(2002)、Nersessian(1989, 2003)、West和Pines(1985)。
25. 斯塔克和波斯纳低估了问题, 并没有完全参与应用库恩证实概念转变的合理性这一问题。正是这件事, 库恩在他《华而不实的文章》中否认了其可能性。

参考文献

- AAAS (American Association for the Advancement of Science): 1989, *Project 2061: Science for All Americans*, AAAS, Washington, DC. Also published by Oxford University Press, 1990.
- Adler, M.J.: 1978, *Aristotle for Everybody*, Macmillan, New York.
- Althusser, L.: 1969, *For Marx*, Penguin, Harmondsworth, UK.
- Andersen, H.: 2000, 'Learning by Ostension: Thomas Kuhn on Science Education', *Science & Education* 9(1-2), 91-106.
- Andreou, C. and Raftopoulos, A.: 2011, 'Lessons from the History of the Concept of the Ray for Teaching Geometrical Optics', *Science & Education* 20(10), 1007-1037.
- ASE (Association for Science Education): 1963, *Training of Graduate Science Teachers*, ASE, Hatfield, UK.
- ASE (Association for Science Education): 1979, *Alternatives for Science Education*, ASE, Hatfield, UK.
- ASE (Association for Science Education): 1981, *Education Through Science*, ASE, Hatfield, UK.
- Bachelard, G.: 1934/1984, *The New Scientific Spirit*, Beacon Books, Boston, MA.
- Banks, F., Leach, J. and Moon, B.: 2005, 'Extract From New Understandings of Teachers' Pedagogic Knowledge 1', *The Curriculum Journal* 16(3), 331-340.
- Besson, U.: 2013, 'Historical Scientific Models and Theories as Resources for Learning and Teaching: The Case

- of Friction', *Science & Education* 22(5), 1001-1042.
- Besson, U.: 2014, 'Teaching About Thermal Phenomena and Thermodynamics: The Contribution of the History and Philosophy of Science'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 245-283.
- Beyerchen, A.D.: 1977, *Scientists Under Hitler: Politics and the Physics Community in the Third Reich*, Yale University Press, New Haven, CT.
- Binnie, A.: 2001, 'Using the History of Electricity and Magnetism to Enhance Teaching', *Science & Education* 10(4), 379-389.
- Block, N.J. (ed.): 1980, *Readings in Philosophy of Psychology*, Vol.1, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Brock, W.H.: 1989, 'History of Science in British Schools: Past, Present and Future'. In M. Shortland and A. Warwick (eds) *Teaching the History of Science*, Basil Blackwell, Oxford, UK, pp. 30-41.
- Brown, H.I.: 1976, 'Galileo, the Elements, and the Tides', *Studies in History and Philosophy of Science* 7(4), 337-351.
- Brush S.G.: 1969, 'The Role of History in the Teaching of Physics', *The Physics Teacher* 7(5), 271-280.
- Brush, S.G.: 1989, 'History of Science and Science Education', *Interchange* 20(2), 60-70.
- Brush, S.G. and King, A.L.Y. (eds): 1972, *History in the Teaching of Physics*, University Press of New England, Hanover, NH.
- Brush, S.G.: 1974, 'Should the History of Science be Rated X?' *Science* 183, 1164-1172.
- Burian, R.M.: 2013, 'On Gene Concepts and Teaching Genetics: Episodes From Classical Genetics', *Science & Education* 22(2), 325-344.
- Carey, S.: 2009, *The Origin of Concepts*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Carr, E.H.: 1964, *What Is History?* Penguin, Harmondsworth, UK.
- Cartwright, J.: 2004, *The Discovery of Oxygen: Student Guide*, Department of Chemistry, University of Chester, UK.
- Chamizo, J.A.: 2007, 'Teaching Modern Chemistry Through Recurrent Historical Teaching Models', *Science & Education* 16(2), 197-216.
- Chang, H.: 2010, 'How Historical Experiments Can Improve Scientific Knowledge and Science Education: The Cases of Boiling Water and Electrochemistry', *Science & Education* 20(3-4), 317-341.
- Coelho, R.L.: 2007, 'The Law of Inertia: How Understanding Its History Can Improve Physics Teaching', *Science & Education* 16(9-10), 955-974.
- Coelho, R.L.: 2009, 'On the Concept of Energy: How Understanding Its History Can Improve Physics Teaching', *Science & Education* 18(8), 961-983.
- Cohen, I.B.: 1950, 'A Sense of History in Science', *American Journal of Physics* 18, 343-359. Reprinted in *Science & Education* 2(3), 1993, 251-277.
- Cohen, I.B.: 1961, *The Birth of a New Physics*, Heineman, London.
- Cohen, R.S. and Schnelle, T.: 1986, *Cognition and Fact: Materials on Ludwick Fleck*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Conant, J.B.: 1945, *General Education in a Free Society: Report of the Harvard Committee*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Conant, J.B.: 1947, *On Understanding Science*, Yale University Press, New Haven, CT.
- Conant, J.B. (ed.): 1948, *Harvard Case Histories in Experimental Science*, 2 volumes, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Conant, J.B.: 1951, *Science and Common Sense*, Yale University Press, New Haven, CT.
- Cotignola, M.I., Bordogna, C., Punte, G. and Cappannini, O.M.: 2002, 'Difficulties in Learning Thermodynamic Concepts: Are They Linked to the Historical Development of this Field?' *Science & Education* 11, 279-291.
- De Berg, K.C.: 2008, 'The Concepts of Heat and Temperature: The Problem of Determining the Content for the Construction of an Historical Case Study which Is Sensitive to Nature of Science Issues and Teaching-Learning Issues', *Science & Education* 17, 75-114.

- DeBoer, G.E.: 2014, 'Joseph Schwab: His Work and His Legacy'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 2433-2458.
- Desmond, A. and Moore, J.: 1992, *Darwin: The Life of a Tormented Evolutionist*, Penguin Books, London.
- Dijksterhuis, E.J.: 1961/1986, *The Mechanization of the World Picture*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- diSessa, A.A. and Sherin, B.L.: 1998, 'What Changes in Conceptual Change?', *International Journal of Science Education* 20(10), 1155-1191.
- Dolphin, G. and Dodick, J.: 2014 'Teaching Controversies in Earth Science: The Role of History and Philosophy of Science'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 553-599.
- Drake, S.: 1978, *Galileo at Work*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Duit, R.: 2009, *Bibliography - STCSE*. Available at: www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html
- Dunst, B. and Levine, A.: 2014, 'Conceptual Change: Analogies Great and Small, and the Quest for Coherence'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1345-1361.
- Ekstig, B.: 1990, 'Teaching Guided by the History of Science: The Discovery of Atmospheric Pressure'. In M.R. Matthews (ed.) *History, Philosophy, and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto, pp. 213-217.
- El-Hani, C.N. et al.: 2014, 'The Contribution of History and Philosophy to the Problem of Hybrid Views about Genes in Genetics Teaching'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 469-520.
- Fauvel, J. (ed.): 1990, *History in the Mathematics Classroom*, The Mathematical Association, Leicester, UK.
- Finocchiaro, M.A.: 1980, 'A Symposium on the Use of the History of Science in the Science Curriculum', *Journal of College Science Teaching* 10(1), 14-33.
- Fitzpatrick, F. (ed.): 1960, *Policies for Science Education*, Teachers College, Columbia University, New York.
- Fleck, L.: 1935/1979, *Genesis and Development of a Scientific Fact*, T.J. Trenn and R.K. Merton (eds), University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Ford, G.W. and Pugno, L. (eds): 1964, *The Structure of Knowledge and the Curriculum*, Rand McNally, Chicago, IL.
- Franco, C. and Colinvaux-de-Dominguez, D.: 1992, 'Genetic Epistemology, History of Science, and Science Education', *Science & Education* 1(3), 255-272.
- Fuller, S.: 2000, 'From Conant's Education Strategy to Kuhn's Research Strategy', *Science & Education* 9(1-2), 21-37.
- Galili, I.: 2014, 'Teaching Optics: A Historico-Philosophical Perspective'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 97-128.
- Galili, I. and Hazan, A.: 2001, 'The Effect of a History-Based Course in Optics on Students' Views about Science', *Science & Education* 10(1-2), 7-32.
- Garritz, A.: 2013, 'Teaching the Philosophical Interpretations of Quantum Mechanics and Quantum Chemistry through Controversies', *Science & Education* 22(7), 1787-1807.
- Gascoigne, J.: 2007, 'Getting a Fix', *Isis* 98(4), 769-778.
- Gauld, C.F.: 1992, 'Wilberforce, Huxley and the Use of History in Teaching About Evolution', *The American Biology Teacher* 54(7), 406-410.
- Gauld, C.F.: 1998, 'Solutions to the Problem of Impact in the 17th and 18th Centuries and Teaching Newton's Third Law Today', *Science & Education* 7(1), 49-67.
- Gillham, N.W.: 2001, *A Life of Sir Francis Galton: From African Exploration to the Birth of Eugenics*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Gopnik, A.: 1996, 'The Scientist as Child', *Philosophy of Science* 63(4), 485-514.

- Graham, L.R.: 1973, *Science and Philosophy in the Soviet Union*, Alfred A. Knopf, New York.
- Greca, I.M. and Friere Jr, O.: 2014, 'Meeting the Challenge: Quantum Physics in Introductory Physics Courses'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 183-209.
- Gulikers, I. and Blom, K.: 2001, 'A Historical Angle: A Survey of Recent Literature on the Use and Value of History in Geometrical Education', *Educational Studies in Mathematics* 47, 223-258.
- Gutting, G. (ed.): 1980, *Paradigms and Revolutions: Applications and Appraisals of Thomas Kuhn's Philosophy of Science*, University of Notre Dame Press, Notre Dame, IN.
- Heilbron, J.L.: 1986, *The Dilemmas of an Upright Man: Max Planck as Spokesman for German Science*, University of California Press, Berkeley, CA.
- Heilbron, J.L.: 2010, *Galileo*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Hershberg, J.G.: 1993, *James B. Conant: Harvard to Hiroshima and the Making of the Nuclear Age*, Knopf, New York.
- Hogg, J.C.: 1938, *Introduction to Chemistry*, Oxford University Press, New York.
- Holmyard, E.J.: 1924, *The Teaching of Science*, Bell, London.
- Holmyard, E.J.: 1925, *An Elementary Chemistry*, Edward Arnold, London.
- Holton, G.: 1952, *Introduction to Concepts and Theories in Physical Science*, Princeton University Press, Princeton, NJ (2nd edn, revised with S.G. Brush, 1985, 3rd edition *Physics the Human Adventure* 2001).
- Holton, G.: 1975, 'Science, Science Teaching and Rationality'. In S. Hook, P. Kurtz and M. Todorovich (eds) *The Philosophy of the Curriculum*, Prometheus Books, Buffalo, NY, pp. 101-118.
- Holton, G.: 1978, 'On the Educational Philosophy of the Project Physics Course'. In his *The Scientific Imagination: Case Studies*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 284-298.
- Holton, G.: 2003, 'The Project Physics Course: Then and Now', *Science & Education* 12(8), 779-786.
- Hong, H.-Y. and Lin-Siegler, X.: 2012, 'How Learning About Scientists' Struggles Influences Students' Interest and Learning in Physics', *Journal of Educational Psychology* 104, 469-484.
- Hurd, P.D.: 1958, 'Science Literacy: Its Meaning for American Schools', *Educational Leadership* 16, 13-16.
- Jaffe, B.: 1938, 'The History of Chemistry and Its Place in the Teaching of Chemistry', *Journal of Chemical Education* 15, 383-389.
- Jaffe, B.: 1942, *New World of Chemistry*, Silver Burdett, New York. Revised edns 1947, 1952, 1955, 1959 and 1964.
- Jaffe, B.: 1955, 'Using the History of Chemistry in Our Teaching', *Journal of Chemical Education* 32, 183-185.
- Jamieson A. and Radick G.: 2013, 'Putting Mendel in His Place: How Curriculum Reform in Genetics and Counterfactual History of Science Can Work Together'. In K. Kampourakis (ed.) *The Philosophy of Biology: a Companion for Educators*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 577-595.
- Jastrzebski, A.: 2012, 'Towards a Better Understanding of the Philosophy of Psychology', *History and Philosophy of Psychology* 14(1), 13-33.
- Jenkins, E.W.: 1979, *From Armstrong to Nuffield*, John Murray, London.
- Jenkins, E.W.: 1990, 'History of Science in Schools: Retrospect and Prospect in the UK', *International Journal of Science Education* 12(3), 274-281. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto, 1991, pp. 33-42.
- Jenkins, E.W.: 1998, 'The Association for Science Education and the Struggle to Establish a Policy for School Science in England and Wales, 1976-81', *History of Education* 27(4), 441-459.
- Jensen, M.S. and Finley, F.N.: 1995, 'Teaching Evolution Using Historical Arguments in a Conceptual Change Strategy', *Science Education* 79(2), 147-166.
- Jung, W.: 1983, 'Toward Preparing Students for Change: A Critical Discussion of the Contribution of the History of Physics to Physics Teaching'. In F. Bevilacqua and P.J. Kennedy (eds) *Using History of Physics in*

- Innovatory Physics Education*, Pavia University, Italy, pp. 6-57. Reprinted in *Science & Education* 1994, 3(2), 99-130.
- Kalman, C.S.: 2009, 'A Role for Experiment in Using the Law of Inertia to Explain the Nature of Science: A Comment on Lopes Coelho', *Science & Education* 18(1), 25-31.
- Kampourakis, K.: 2013, 'Teaching About Adaptation: Why Evolutionary History Matters', *Science & Education* 22(2), 173-188.
- Kauffman, G.B.: 1989, 'History in the Chemistry Curriculum', *Interchange* 20(2), 81-94. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto, 1991, pp. 185-200.
- Kindi, V.: 2005, 'Should Science Teaching Involve the History of Science? An Assessment of Kuhn's View', *Science & Education* 14(7-8), 721-731.
- Kipnis, N.: 1992, *Rediscovering Optics*, BENA Press, Minneapolis, MN.
- Kitchener, R.F.: 1986, *Piaget's Theory of Knowledge: Genetic Epistemology and Scientific Reason*, Yale University Press, New Haven, CT.
- Kitcher, P.: 1988, 'The Child as Parent of the Scientist', *Mind and Language* 3(3), 217-228.
- Klein, M.J.: 1972, 'Use and Abuse of Historical Teaching in Physics'. In S.G. Brush and A.L. King (eds) *History in the Teaching of Physics*, University Press of New England, Hanover, NH, pp. 12-18.
- Klopfner, L.E.: 1964-1966, *History of Science Cases*, Science Research Associates, Chicago, IL.
- Klopfner, L.E.: 1969a, 'The Teaching of Science and the History of Science', *Journal of Research in Science Teaching* 6, 87-95.
- Klopfner, L.E.: 1969b, *Case Histories and Science Education*, Wadsworth Publishing, San Francisco, CA.
- Klopfner, L.E.: 1990, 'Scientific Literacy', in *The International Encyclopedia of Curriculum*, Pergamon Press, Oxford, UK.
- Klopfner, L.E.: 1992, 'An Historical Perspective on the History and Nature of Science in School Science Programs'. In R. Bybee, J.D. Ellis, J.R. Giese and L. Parisi (eds) *Teaching About the History and Nature of Science and Technology: Background Papers*, BSCS/SSEC, Colorado Springs, pp. 105-130.
- Klopfner, L.E. and Cooley, W.W.: 1961, *The Use of Case Histories in the Development of Student Understanding of Science and Scientists*, Graduate School of Education, Harvard University, Cambridge, MA.
- Klopfner, L.E. and Cooley, W.W.: 1963, 'Effectiveness of the History of Science Cases for High Schools in the Development of Student Understanding of Science and Scientists', *Journal of Research in Science Teaching* 1, 35-47.
- Klopfner, L.E. and Watson, F.G.: 1957, *Historical Materials and High School Science Teaching*, *The Science Teacher* 24, 264-265, 292-293.
- Kokkotas, P.V., Malamitsa, K.S. and Rizaki, A.A. (eds): 2011, *Adapting Historical Knowledge Production to the Classroom*, Sense Publishers, Rotterdam, The Netherlands.
- Kragh, H.: 1986, 'Physics and History: Noble Lies or Immoral Truths?'. In P.V. Thomsen (ed.) *Science Education and the History of Physics*, University of Aarhus, Denmark, pp. 70-76.
- Kragh, H.: 1987, *An Introduction to the Historiography of Science*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kragh, H.: 1992, 'A Sense of History: History of Science and the Teaching of Introductory Quantum Theory', *Science & Education* 1(4), 349-364.
- Kuhn, T.S.: 1957, *The Copernican Revolution*, Random House, New York.
- Kuhn, T.S.: 1959, 'The Essential Tension: Tradition and Innovation in Scientific Research', *The Third University of Utah Research Conference on the Identification of Scientific Talent*, University of Utah Press, Salt Lake City. Reprinted in his *The Essential Tension*, University of Chicago Press, Chicago, IL, pp. 225-239.
- Kuhn, T.S.: 1970, *The Structure of Scientific Revolutions*, 2nd edn, Chicago University Press, Chicago, IL (1st edition, 1962).
- Kuhn, T.S.: 1971/1977, 'Concepts of Cause in the Development of Physics'. In his *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, University of Chicago Press, Chicago, IL, pp. 21-30.

- Lakatos, I.: 1971, 'History of Science and Its Rational Reconstructions'. In R.C. Buck and R.S. Cohen (eds) *Boston Studies in the Philosophy of Science* 8, pp. 91-135.
- Lakatos, I. and Musgrave, A. (eds): 1970, *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Lennox, J.G. and Kampourakis, K.: 2013, 'Biological Teleology: The Need for History'. In K. Kampourakis (ed.) *The Philosophy of Biology: a Companion for Educators*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 421-454.
- Leone, M.: 2014, 'History of Physics as a Tool to Detect the Conceptual Difficulties Experienced by Students: The Case of Simple Electric Circuits in Primary Education', *Science & Education* 23(4), 923-953.
- Levrini, O.: 2014, 'The Role of History and Philosophy in Research on the Teaching and Learning of Relativity'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 157-181.
- Limón, M. and Mason, L. (eds): 2002, *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*, Kluwer Academic Publishers, Nowell, MA.
- Mach, E.: 1883/1960, *The Science of Mechanics*, Open Court Publishing, LaSalle, IL.
- Mach, E.: 1886/1986, 'On Instruction in the Classics and the Sciences'. In his *Popular Scientific Lectures*, Open Court Publishing, LaSalle, IL, pp. 338-374.
- McGrath, E. (ed.): 1948, *Science in General Education*, W.C. Brown, Dubuque, IA.
- Mansell, A.E.: 1976, 'Science for All', *School Science Review* 57, 579-585.
- Matthews, M.R. (ed.): 1989, *The Scientific Background to Modern Philosophy*, Hackett Publishing Company, Indianapolis, IN.
- Matthews, M.R. (ed.): 2000a, 'Thomas Kuhn and Science Education', *thematic issue, Science & Education* 9(1-2).
- Matthews, M.R.: 2000b, *Time for Science Education: How Teaching the History and Philosophy of Pendulum Motion Can Contribute to Science Literacy*, Kluwer Academic Publishers, New York.
- Matthews, M.R.: 2004, 'Thomas Kuhn and Science Education: What Lessons Can be Learnt?' *Science Education* 88(1), 90-118.
- Mayr, E.: 1982, *The Growth of Biological Thought*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Middleton, W.E.K.: 1964, *A History of the Barometer*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- Mihas, P. and Andreadis, P.: 2005, 'A Historical Approach to the Teaching of the Linear Propagation of Light, Shadows and Pinhole Cameras', *Science & Education* 14(7-8), 675-697.
- Millikan, R.A.: 1950, *Autobiography*, Prentice-Hall, New York.
- Moody, E.A.: 1951, 'Galileo and Avempace: The Dynamics of the Leaning Tower Experiment', *Journal of the History of Ideas* 12, 163-193, 375-422. Reprinted in his *Studies in Medieval Philosophy, Science and Logic*, University of California Press, Berkeley, CA, 1975, pp. 203-286.
- Nersessian, N.J.: 1989, 'Conceptual Change in Science and in Science Education', *Synthese* 80(1), 163-184. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto, 1991.
- Nersessian, N.J.: 2003, 'Kuhn, Conceptual Change and Cognitive Science'. In T. Nickles (ed.) *Thomas Kuhn*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 178-211.
- Neugebauer, O.: 1969, *The Exact Sciences in Antiquity*, 2nd edn, Dover, New York.
- NSSE (National Society for the Study of Education): 1960, *Rethinking Science Education. 59th Yearbook*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Nye, M.J.: 1975, 'The Moral Freedom of Man and the Determinism of Nature: The Catholic Synthesis of Science and History in the *Revue des Questions Scientifiques*', *British Journal for the History of Science* 8, 274-292.
- Oppe, G.: 1936, 'The Use of Chemical History in the High School', *Journal of Chemical Education* 13, 412-414.
- Padilla, K. and Furio-Mas, C.: 2008, 'The Importance of History and Philosophy of Science in Correcting

- Distorted Views of "Amount of Substance" and "Mole" Concepts in Chemistry Teaching', *Science & Education* 17(4), 403-424.
- Pais, A.: 1982, *Subtle is the Lord: The Science and Life of Albert Einstein*, Oxford University Press, New York.
- Pais, A.: 1991, *Neils Bohr's Times, in Physics, Philosophy, and Polity*, Clarendon Press, Oxford, UK.
- Panagiotou, E.V.: 2011, 'Using History to Teach Mathematics: The Case of Logarithms', *Science & Education* 20(1), 1-35.
- Paul, H.: 1979, *The Edge of Contingency: French Catholic Reaction to Scientific Change from Darwin to Duhem*, University of Florida Press, Gainesville.
- Pflaum, R.: 1989, *Grand Obsession: Madame Curie and Her World*, Doubleday, New York.
- Piaget, J.: 1970, *Genetic Epistemology*, Columbia University Press, New York.
- Piaget, J. and Garcia, R.: 1989, *Psychogenesis and the History of Science*, Columbia University Press, New York.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. and Gertzog, W.A.: 1982, 'Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change', *Science Education* 66(2), 211-227.
- PSSC (Physical Science Study Committee): 1960, *Physics*, D.C. Heath, Boston, MA.
- Pumfrey, S.: 1987, 'The Concept of Oxygen: Using History of Science in Science Teaching'. In M. Shortland and A. Warwick (eds) *Teaching the History of Science*, Basil Blackwell, Oxford, UK, pp. 142-155.
- Ryan, J.: 1992, 'Finding Generalizable Strategies in Scientific Theory Debates'. In S.P. Norris (ed.) *The Generalizability of Critical Thinking: Multiple Perspectives on an Educational Ideal*, Teachers College Press, New York, pp. 66-79.
- Sammis, J.H.: 1932, 'A Plan for Introducing Biographical Material into Science Courses', *Journal of Chemical Education* 9, 900-902.
- Schecker, H.: 1992, 'The Paradigmatic Change in Mechanics: Implications of Historical Processes on Physics Education', *Science & Education* 1(1), 71-76.
- Schilpp, P.A. (ed.): 1951, *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, 2nd edn, Tudor, New York.
- Schmitt, C.B.: 1967, 'Experimental Evidence For and Against a Void: The Sixteenth-Century Arguments', *Isis* 58, 352-366.
- Schwab, J.J.: 1949, 'The Nature of Scientific Knowledge as Related to Liberal Education', *Journal of General Education* 3, 245-266. Reprinted in I. Westbury and N.J. Wilkof (eds) *Joseph J. Schwab: Science, Curriculum, and Liberal Education*, University of Chicago Press, Chicago, IL, 1978.
- Schwab, J.J.: 1950, 'The Natural Sciences: The Three Year Programme'. In University of Chicago Faculty, *The Idea and Practice of General Education*, University of Chicago Press, Chicago.
- Schwab, J.J.: 1963, *Biology Teacher's Handbook*, Wiley, New York.
- Seroglou, F. and Koumaras, P.: 2001, 'The Contribution of the History of Physics in Physics Education: A Review', *Science & Education* 10 (1-2), 153-172.
- Shapere, D.: 1964, 'The Structure of Scientific Revolutions', *Philosophical Review* 73, 383-394.
- Shapin, S. and Schaffer, S.: 1985, *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Shea, W.R.: 1970, 'Galileo's Claim to Fame: The Proof that the Earth Moves From the Evidence of the Tides', *British Journal for the History of Science* 5, 111-127.
- Sherratt, W.J.: 1983, 'History of Science in the Science Curriculum: An Historical Perspective', *School Science Review* 64, 225-236, 418-424.
- Shimony, A.: 1976, 'Comments on Two Epistemological Theses of Thomas Kuhn'. In R.S. Cohen, P.K. Feyerabend and M.W. Wartofsky (eds) *Essays in Memory of Imre Lakatos*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands, pp. 569-588.
- Shulman, L.S.: 1986, 'Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching', *Educational Researcher* 15(2), 4-14.
- Shulman, L.S.: 1987, 'Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform', *Harvard Educational Review*

57(1), 1-22.

- Sibum, H.O.: 1988, 'The Beginning of Electricity: Social and Scientific Origins and Experimental Setups'. In C. Blondel and P. Brouzeng (eds) *Science Education and the History of Physics*, Université Paris-Sud, Paris, pp. 139-146.
- Siegel, H.: 1978, 'Kuhn and Schwab on Science Texts and the Goals of Science Education', *Educational Theory* 28, 302-309.
- Siegel, H.: 1979, 'On the Distortion of the History of Science in Science Education', *Science Education* 63, 111-118.
- Snow, C.P.: 1963, *The Two Cultures: A Second Look*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Sobel, D.: 1994, *Longitude: The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time*, Walker Publishing, New York.
- Solomon, J.: 1989, *The Big Squeeze*, Association for Science Education, Hatfield, UK.
- Stinner, A., McMillan, B., Metz, D., Jilek, J. and Klassen, S.: 2003, 'The Renewal of Case Studies in Science Education', *Science & Education* 12, 617-643.
- Strauss, S. (ed.): 1988, *Ontogeny, Phylogeny and Historical Development*, Ablex, Norwood, NJ.
- Strike, K.A. and Posner, G.J.: 1992, 'A Revisionist Theory of Conceptual Change'. In R. Duschl and R. Hamilton (eds) *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice*, State University of New York Press, Albany, NY, pp. 147-176.
- Suchting, W.A.: 1994, 'Notes on the Cultural Significance of the Sciences', *Science & Education* 3(1), 1-56.
- Villani, A. and Arruda, S.M.: 1998, 'Special Theory of Relativity, Conceptual Change and History of Science', *Science & Education* 7(1), 85-100.
- Vosniadou, S.: 2013, 'Conceptual Change in Learning and Instruction: The Framework Theory Approach'. In S. Vosniadou (ed.) *The International Handbook of Conceptual Change*, 2nd edn, Routledge, New York, pp. 11-30.
- Wandersee, J.H.: 1985, 'Can the History of Science Help Science Educators Anticipate Students' Misconceptions?', *Journal of Research in Science Teaching* 23(7), 581-597.
- Wandersee, J.H. and Roach, L.M.: 1998, 'Interactive Historical Vignettes'. In J.J. Mintzes, J.H. Wandersee and J.D. Novak (eds) *Teaching Science for Understanding. A Human Constructivist View*, Academic Press, San Diego, CA, pp. 281-306.
- West, L.H.T. and Pines, A.L. (eds): 1985, *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Academic Press, New York.
- Westbury, I. and Wilkof, N.J. (eds): 1978, *Joseph J. Schwab: Science, Curriculum, and Liberal Education*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Westfall, R.S.: 1980, *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Whewell, W.: 1855, 'On the Influence of the History of Science Upon Intellectual Education'. In *Lectures on Education Delivered at the Royal Institution on Great Britain*, J.W.Parker, London.
- Whitaker, M.A.B.: 1979, 'History & Quasi-history in Physics Education Pts I, II', *Physics Education* 14, 108-112, 239-242.
- Yager, R.E. and Penick, J.E.: 1987, 'Resolving the Crisis in Science Education: Understanding Before Resolution', *Science Education* 71(1), 49-55.
- Zinn, H.: 1999, *A People's History of the United States: 1492-Present*, 2nd edn, Harper Collins, New York.

在教授科学的同时我们也在教授哲学，传递的信息或清楚或含蓄地表达着有关认识论、本体论、伦理学、合情推理、论证和其他一些哲学主题，包括宗教和美学。通过哪种方式能够使哲学在科学教育中的呈现方式更加清楚，这部分内容将在本章得到检验。本章将论证：通过更加清楚地阐述哲学，促进良好的科学教育目标的实现——学生能更好地理解这个学科并且更精通科学推理。同时，本章将传达科学更普遍的文化维度和认识论维度。这种做法能够延伸至历史、数学、地理、经济学和学校大多数学科的教学中——它们都具有哲学维度，最好以一种深入的、明确的方式参与其中。

科学与哲学

科学教育与哲学的分离导致了科学教育的扭曲。从古希腊至今，科学与哲学一直相互交织在一起：科学、形而上学、逻辑学和认识论一直都是不可分割的。大多数伟大的科学家同时又是哲学家，如德谟克利特（Democritus）、亚里士多德（Aristotle）、哥白尼（Copernicus）、伽利略（Galileo）、笛卡尔（Descartes）、牛顿（Newton）、莱布尼茨（Leibnitz）、波义耳（Boyle）、法拉第（Faraday）、达尔文（Darwin）、马赫（Mach）、爱因斯坦（Einstein）、普朗克（Planck）、海森堡（Heisenberg）、薛定谔（Schrödinger）等。20世纪初，德国神学家阿道夫·冯·哈纳克（Adolf von Harnack）评论道：“人们抱怨我们这一代没有哲学家，这相当不公平，现今的哲学家被划在另一个学科中，他们的名字是普朗克和爱因斯坦”（Scheibe 2000, p. 31）。

尽管存在革命、范式变化、商业化和许多其他因素，当代科学，尤其是当代学校科学仍是伽利略和牛顿新科学的延续，并推进同一系列的哲学问题，科学和哲学继续齐头并进¹。彼得·伯格曼（Peter Bergmann）

也表达了这一观点，他说自己从爱因斯坦那里学到“理论物理学家是……穿着工人服装的哲学家”（Bergmann 1949, p. v, quoted in Shimony 1983, p. 209）²。基于尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）的工作，一位评论者这样评论道：

“对于玻尔来说，新理论（量子论）不仅是一门绝妙的物理学，而且是一座哲学宝库，它以新的形式包含了他在少年时期所向往的思想。”

（Petersen 1985, p. 300）

19世纪和20世纪大多数重要的物理学家都曾撰写过关于哲学著作，涉及科学与哲学之间重叠的部分³。许多不太知名的物理学家也写过这类书，来梳理他们的科学工作与假定和暗示的本体论、认识论以及伦理学之间的关系⁴。不只物理学家，许多化学家和生物学家也对这方面的研究做出了贡献⁵。

当然，并不是说所有这些优秀的科学家都有出色的哲学著作，或都从他们的科学经验中得出了合理的结论——有的人做到了，而有的人并没有⁶；重点并不在于这些科学家是否有合理的哲学理论，而是他们都以哲学的方式去思考；他们都反思自己的学科和活动，并看到这种反思建立在或大或小的哲学问题之上。这个事实证明好的哲学离不开科学⁷，也证明哲学同样离不开好的科学教育。

牛津哲学家和历史学家科林伍德（R.G. Collingwood）（1889—1943）在其标志性著作《自然的观念》中描述了科学和哲学相互依赖的历史，并评论道：

“对自然事实的详细研究通常被称为自然科学，或简称科学；对原理，无论是关于自然科学的原理，还是关于其他任何思想或行为学科原理的反思通常被称为哲学……但两者密切相关，没有哲学作为开端，自然科学不能长久前行；哲学作用于科学，通过科学，哲学得以发展，科学家基于他们对所从事学科原理的新意识，为哲学的未来提供了新的稳固性和一致性。”

（Collingwood 1945, p. 2）

他接着写道：

“因此，把自然科学交给被称为科学家的一类人，而把哲学交给被称为哲学家的另一类人，这种分配并不令人满意。不会反思工作原理的人就不能获得对工作成熟的看法。从来没有像哲学家那样思考科学的科学家永远只能是二流的、模仿的科学工人。”

(Collingwood 1945, p. 2)

科林伍德所说的这个要求——优秀的科学实践必须“反思原理”，同样也适用于优秀的科学教学实践。通识教育正好能够促进这种更深入的反思，并能够帮助人们理解所教学科（数学、历史、经济学、神学，也包括科学）的基本概念、定律或者方法论的含义。

形而上学问题从科学主题中自然地显现出来。历史研究描绘了科学和形而上学的相互依赖关系。伽利略学派/亚里士多德学派关于第一因的争论、伽利略学派/开普勒学派关于潮汐运动理论的争论、牛顿学派/笛卡尔学派关于超距作用的争论、牛顿学派/贝克莱学派关于绝对时空是否存在的争论、牛顿学派/惠更斯—菲涅尔学派关于光的微粒学说的争论、达尔文学派/佩里学派关于自然设计和自然选择的争论、马赫/普朗克关于原子论的解释的争论以及爱因斯坦/哥本哈根学派关于量子论确定的解释的争论，这些都突显了形而上学问题。形而上学在科学中普遍存在⁸。

如上所述，伽利略是科学家—哲学家的典范。他在许多领域中都曾做出重要的哲学贡献：在本体论方面，他区分了第一性和第二性；在认识论方面，他批判权威作为知识主张的仲裁者，并提出感觉证据与数学推理的从属关系；在方法论上，他发展了数学—实验方法；在形而上学方面，他批判了亚里士多德的因果范畴，并拒绝把目的论作为解释性的原理。尽管伽利略在哲学上有重要贡献，并且对17世纪几乎所有的哲学家以及后来的哲学家如康德(Kant)和胡塞尔(Husserl)都有公认的影响，但不幸的是，在大多数哲学史中很少出现伽利略，大部分科学教科书也忽视了他的哲学影响和贡献。

科学总是在同时代哲学观念的环境下发展，这是预料中的事情。科学家通过可用的语言和概念工具进行思考、写作和交谈。通常，那些形成观点的人自身也被特定的知识环境所塑造，他们的观点受到这些环

境的制约。牛顿说他之所以比别人看得远，是因为他站在巨人的肩膀上——没有哥白尼、开普勒和伽利略（更不用说欧几里得的几何学），就没有统一的地面力学和天体力学理论。科学家对世界的理解和探索方法是由自身的教育和环境形成的，而环境中到处弥漫着同时期的哲学思想。从客观主义的观点来看，这些主张表明这样一个事实：科学是个人创造和发展的概念、定义、方法论、结果、工具与专业组织构成的系统，但它又先于个人，个人首先完成科学的学习，然后在科学中工作。由于科学包含哲学假说，因此，哲学对科学家的工作有巨大影响⁹。

一些流行的、畅销的科学著作促进了科学与哲学之间的联系。这些作品或多或少地表达着这样的基本思想：科学与其他学科（哲学、心理学、神学、数学）以及更普遍的文化世界观之间存在相互影响的关系。当下，这些书的广泛影响可以与两次世界大战期间亚瑟·埃丁顿（Arthur Eddington, 1882—1944）的《物质世界的性质》（1928/1978）、伯纳尔（J.D. Bernal, 1901—1971）的《科学的社会功能》（1939）和詹姆斯·琼斯（James Jeans, 1877—1946）的《物理学和哲学》（1943/1981）的影响相提并论。这些书对人们的思想和观点产生了巨大影响，且这种影响范围远远超出了学术界。琼斯在书的序言中写道：

“简略地说明一下此书的目的，它将讨论……以往认为无趣的物理学与哲学之间的领域，由于近来理论物理学的发展，该领域突然变得有趣和重要……这种新兴趣远远超越了物理学和哲学的技术问题，进而扩展到与人类生活密切相关的问题上。”

（Jeans 1943/1981, p. i）

科学课堂中的哲学：惯性定律

科学教师不必“从外界把哲学带入课堂”，哲学本身就存在于课堂之中。从最基础的层面来讲，任何教材或科学讨论都将包括“定律”、“理论”、“模型”、“解释”、“原因”、“真理”、“知识”、“假说”、“证明”、“观察”、“证据”、“理想化”、“时间”、“空间”、“域”、“种类”和“质量”等术语。如果师生放慢科学课的节奏，问问这些术语是什么意思以及它们的正确使用条件是什么，哲学便由此开始了。关于以上所有这些概念，应

该鼓励师生提出哲学家经常提出的标准问题：“……是什么意思？”，“你如何知道的？”等问题。当讨论诸如波义耳定律、道尔顿模型或达尔文理论时，这种引导性的哲学分析可以促进学生更好地理解所涉及的不同的经验问题和概念问题。它通常也可以促进批判性思维和反思性思维。而这类哲学分析的复杂程度可以根据课堂情况进行调整。这些分析和逻辑问题以及思维习惯在学前阶段就可以引入，正如马修·李普曼（**Matthew Lipman**）和儿童哲学计划证明的那样，它们能够随着孩子的成熟得以完善¹⁰。

科学课程的每个主题，从比较明确的主题，如进化论、遗传学、宇宙学、核能、光合作用、原子理论、大陆漂移说，到不太明确的一般性主题，如牛顿定律、氧化反应和单摆运动，都是进行丰富的历史与哲学探究的机会。所有这些科学主题，都能使学生了解基本的哲学观念和过程——证据、假设验证、解释和理论依赖性等。

思考一下惯性定律及相关的力学概念。该定律是经典物理学的基石，每个学习科学的学生都会在学校学到。某典型的教科书中是这样表述的：

“除非有外力改变当前的运动状态，否则任何物体都将保持静止或匀速直线运动状态。”

（Booth & Nicol 1931/1962, p. 24）

惯性定律与经验相悖，不难猜测学生会很难或者根本不相信它，即使学生相信它，也仅是出于考试和计算的目的。根据日常教学经验，所有物理教师都有这种预期。正如一位德国学生所说：“物理学不是关于这个世界的”（**Schecker 1992, p. 75**），很多学生都能得出此类结论。使用气动工作台或在冰面上滑动冰球，或使用伽利略斜面都可以“证明”牛顿第一定律¹¹。在纯技术科学教育中，学生牢记该定律，并使用相关公式 $F = ma$ 来解答问题。技巧方面只需要学生准确记忆和掌握数量技巧——“X 牛顿的力作用于质量为 Y 千克的物体，将产生多大的加速度？”但它无法实现通识教育的目标。如果要学生相信那些与经验相反的陈述，甚至是恒伪的定律，应当给予他们一些更加合理的解释。最终这些合理的解释可以使学生有充分的理由相信牛顿学说，这其中就需要一些科学史

和科学哲学。

在惯性这个常规主题中，进行少量的哲学反思和历史研究，就能够展现出全新的科学教育前景。中世纪的自然哲学家既掌握亚里士多德物理学，又掌握来源于日常经验的常识信念。事实上，亚里士多德物理学或多或少就是对常识的严谨叙述。一位当代亚里士多德学派的学者提到：

“亚里士多德从每个人应当开始的地方开始，即从来自日常平凡经验的已知东西开始……亚里士多德的思想始于常识，但没有终结于此，它朝着更远的方向延伸。围绕常识他又补充了一些极不常见的、非凡的领悟和见解。”

(Adler 1978, pp. xi, xiii)

这些理解使亚里士多德的著名论断“所有运动的物体都是由其他物体推动的”获得中世纪的认可，阿奎那和经院哲学家将其解读为“任何物体的运动都是外力作用的结果（动力因）”。反过来说，该原理就是：如果动力因停止作用，那么运动也就停止了。该原理来自日常经验、常识和亚里士多德物理学。克拉格特（Clagett）将亚里士多德深信的观点概述如下：

“对亚里士多德而言，运动是一个过程，是由运动源（或‘动力因’）不断作用和‘运动的物体’组成的。运动源（或‘动力因’）是一种力，在运动过程中直接接触运动物体——这种力在自然运动中是内在的，在非自然（强迫）运动中是外加的。”

(Clagett 1959, p. 425)

考虑到世间万物是运动的这一事实，该原理要求亚里士多德假设一个第一推动者。阿奎那和经院哲学家接受了这个说法，然后继续论证第一推动者的存在，并认为第一推动者就是上帝¹²。

中世纪的冲力理论是对亚里士多德物理学的一个详尽阐述：推动者给予被推动者某种“东西”（冲力），当推动者不再作用时，这种冲力使得被推动者保持运动（关于抛物体的经典案例）。一些人，如达马恰（da Marchia）认为这种冲力会自然衰减，因此抛物体的运动最终会停止。另一些人，如比里当（Buridan）认为：这些被转移的能量只有在完成了它

的使命后才会消逝，由于推动空气的过程也是做功的过程，因此抛物体最终也将停止运动。两种理论都和下述现象相符：当石头从手中抛出去时，它只能运动一段距离，然后落到地面¹³。伽利略做了一个思想实验：他思考如果把比里当的理论应用于不做功的情形，抛物体一旦被施以冲力（即近代所说的力），那么它将永远运动下去。然而，对伽利略而言，这个抛物体将沿着地球轮廓进行运动。他通过实验重复了这一情形：让球从一个斜面滚下，然后沿另一个斜面向上滚动，当第二个斜面逐渐降低到水平时，球将沿着它运动得越来越远。他猜测，如果有最光滑的斜面和最光滑的球，那么，当第二个斜面达到水平时，球将永远保持运动。这是他关于圆周惯性理论的设想¹⁴。

伽利略完全不知道物体能沿着直线离开地球进入无限太空，同其他人一样，他在物理和观念方面都仅局限于地球。只有牛顿在观念上做出了巨大飞跃，充分说明抛物体可以离开地球并且进入无限太空。他的观念“从封闭世界扩展到无限宇宙”，这是亚历山大·柯瓦雷（Alexandre Koyré）（1892—1964）在论述该主题时采用的富有表现力的标题（Koyré 1957）。牛顿观念的飞跃是现代力学的基础。惯性定律整整两千年的发展史，充分向人们展示了科学事业的结构和机制，包括理论产生和理论选择的过程¹⁵。通过研究这些论证的历史可以促使世界观和科学论证结出丰硕的果实。

例如，在“无法令人信服”的惯性课程之后，通常学生们的典型说法是“牛顿定律没有描述我们的经验世界”；还有一些学生说，“物理学是描述特殊世界的，我不知道我们为什么要学习它。”当然，浪漫主义反对的是牛顿的理想化。对于济慈（Keats）、柯尔律治（Coleridge）和歌德（Goethe）等人而言，牛顿平淡无趣的质点以及新科学没有情感和感觉的机械世界无法捕捉人类丰富的经验世界。20世纪，马库塞（Marcuse）、胡塞尔、提利奇（Tillich）和其他人重申了这一主张。然而，我们需要认识以及了解HPS称职的教师会指出的是赫胥黎（Aldous Huxley）准确观察到的，即：

“关于世界的科学描述是不恰当的，原因很简单——科学没有坦率地把经验作为一个整体来处理，而是仅仅处理经验在某些情境中

的某些方面。对一个有哲学头脑的科学人而言，这些东西应当理解得相当清楚……然而不幸的是，我们的时代包含了太多所谓的‘只是想想而已’的念头。”

(Huxley 1947, p. 28)

在完整讲解惯性定律和力的概念的课堂中，除了会出现有趣并且重要的历史之外，还会出现基本的哲学问题：

- 认识论：实际上，在自然中我们从未见过不受力的作用的现象；而实验中也无法产生这种现象。那么，我们所掌握的关于不受力的作用的物体运动的知识，其来源和依据是什么呢？
- 本体论：除了力的表现，我们没有见过或体验过力，因此，力是独立存在的吗？质量是什么？如何测量区别于重量的质量呢？
- 宇宙论：这种惯性物体在无限太空中会永远运动下去吗？物体是随运动一起产生的吗？如果二者一起产生，运动是自然衰减（冲力理论），还是仅在做功时才衰减（牛顿学说）？

正是这些考虑促使法国博学者亨利·庞加莱（Henri Poincaré）（1854—1912）提出：“当我们说力是产生运动的原因时，我们实际上在谈论形而上学”（Poincaré 1905/1952, p. 98）。就像所有物理课都会谈到力是产生加速度的原因一样，所有课堂中都存在着形而上学，只是等待教师鼓励认真思考所学知识的学生，以及对自身所教学科包含的历史和哲学知识有所了解的老师来揭示。惯性定律在课堂教学过程中引起的对哲学基本的本体论、认识论和方法论问题的阐述和参与，在许多优秀的教材中都有所体现¹⁶。所有这些都为更加细致充分地讨论科学与形而上学方面的重大问题奠定了基础，同时也有助于把学生培养成更具哲学思想的科学专业的学生¹⁷。

从历史的角度对一些基本原理和概念进行认真思考，是透彻理解和牢固掌握任何学科（可能是数学、历史、心理学、文学、神学、经济学，或其他任何学科）的普遍要点。各个学科都有自己的交叉概念和标准来辨别实践和判断好坏，因此每个学科都存在一些哲学问题（认识论、本体论、方法论和伦理学），也存在与每个学科相关的哲学。因此，学好任何学科都要求在该学科的哲学方面有适当的兴趣和能力，这正是“通过理解来学习”要表达的意思——这是由马赫（1886/1986）和当代的舍夫

勒（1970）提出的一个著名的教育观点¹⁸。如果严谨的科学家（如本章前面所列出的）认为有必要撰写其所属学科哲学方面的著作，那么毋庸置疑，科学教师和学生将会效仿他们，并从参与相同问题的讨论过程中受益。

马赫和舍夫勒的论点后来体现在国际上对学生发出的呼吁，即学生在学习科学时也要了解科学的本质（**nature of science, NOS**）。不学习科学哲学，就无法了解NOS，这是马赫和舍夫勒明确表达的论点。

科学中的思想实验

思想实验是课程探索中一个丰富且富有成效的科学/哲学主题。思想实验在科学史上具有重要作用——前苏格拉底学者、中世纪学者、伽利略、莱布尼茨、牛顿、卡诺以及上世纪的爱因斯坦、庞加莱、薛定谔、爱丁顿和海森堡都见证了思想实验的作用。如果不借助于思想实验，相对论和量子论都不可能得到发展或概念上的检验；但在科学认识论中，关于思想实验能否独自提出相关理论，存在很大的争议¹⁹。显然，思想实验把科学与哲学联系起来，有人注意到：哲学史不过是一个长期的思想实验。思想实验表明了科学思维的一个重要维度，也说明了它在课堂中的应用效果极佳。对许多人而言，思想实验开启了全新的科学阵地。其特征之一如下：

“思想实验是探究事物本质的想象力装置。当用变化的方法处理富有想象力的各种设想时常常会产生思想实验。因各种原因，思想实验应用到经济学、历史、数学、哲学和物理学等诸多领域。大多数情况下，思想实验通过叙述的方式进行表达，有时也用图表等媒介表达。思想实验应当区别于关于实验的思考，区别于不受想象力约束的、单纯的实验幻想，区别于任何关于思想的心理学实验，同时也应当区别于一般的反事实推理，因为它们似乎需要一种实验元素。”

（Brown & Fehige 2011, p. 1）

伽利略

恩斯特·马赫（1838—1916）在其《力学》中关注了科学史上最伟

大的思想实验之一，即伽利略《关于两种新科学的对话》(1638/1954)中第一天的思想实验。该实验旨在反驳亚里士多德的一个论点，即自由落体下落的速度与其重量成正比。在伽利略的书中，亚里士多德学派的辛普利西奥(Simplicio)曾陈述了一个公认观点：“在同一介质中，不同重量的物体下落速度不同，其下落速度的比值与其重量的比值相同”(Galileo 1638/1954, p. 60)²⁰。接着是非结论性的讨论，讨论炮弹和枪子从极高处落到地面的时间差异。辛普利西奥和伽利略的代言人萨尔维亚蒂(Salviatti)继续谈论道：

萨尔维亚蒂(以下简称萨)：即使不做进一步的实验，通过简短且令人信服的论证方法也可清晰证明：相同的材料，质量较重的物体并不比质量较轻的物体下落的速度更快(简言之，诸如亚里士多德提到的那些物体)。但是，辛普利西奥，请告诉我，你是否承认每个下落物体都会获得由其本身特点决定的固定速度？如果不施加力或阻力，那么这个速度就不能加快或减慢。

辛普利西奥(以下简称辛)：毋庸置疑，在单一媒介中运动的同一物体具有其本身特点决定的固定速度。如果没有增加动量，那么这一速度就不会加快；如果不施加对它产生妨碍的某种阻力，那么这一速度也不会减小。

萨：如果我们考虑两个自然速度不同的物体，把它们系到一起，很显然，速度较慢的物体在某种程度上会拖慢速度较快的物体，同样速度较快的物体在某种程度上也会加快速度较慢的物体。你同意我的这个看法吗？

辛：肯定同意。

萨：然而，如果我的看法正确，那么假设大石头以(比如)8的速度运动，小石头以4的速度运动，当把这两块石头系到一起时，形成的石头整体的运动速度将小于8；但是，这两块石头捆到一起形成的石头整体，其重量大于以速度8运动的那块石头。因此，较重物体的运动速度比较轻物体的运动速度慢，此结果与你的假定相反。由此你看到，从你的假定“较重物体比较轻物体的运动速度更快”中，我推出了相反的结论。

辛：我感到迷惑，因为在我看来，把小石头系到大石头上，重

量增大了；而我不明白，重量增大了，可速度却没有提高，或者至少不应该减小。

伽利略的论证简短凝练，令人信服又无比精妙。波普尔把它描述为：

“自然哲学史上最重要的想象实验之一，它是探究宇宙理性思想历史中最简单、最富创造力的论证之一。”

(Popper 1934/1959, p. 442)

接着我们再来思考伽利略是如何批判或解决自然运动与受迫运动之间的区别的，这一区别深深植根于亚里士多德物理学中。在这种物理学中，物体趋向“自然”位置的运动是自然运动；物体离开这些位置的运动是受迫运动。行星的自然运动是圆周运动，地面重物的自然运动是朝向地心的运动。伽利略假想了一个实验，在该实验中，从地球一侧通过地心挖一眼井，挖到另一侧。他请亚里士多德派学者想象当石头沿井下落时将发生什么现象。显然，石头将“自然”加速下落到地心，可到达地心时，又会发生什么？它会停止吗？还是继续保持运动并“自然”离开地心？它会以某种方式从自然运动转变为受迫运动吗？这个思想实验旨在探究亚里士多德学派关于自然运动和受迫运动之间本质区别的不足之处²¹。当然，这样的实验根本无法真正进行，但这并不妨碍用它来说明旧物理学的概念问题。

由于这个思想实验以及其他类似的思想实验，亚历山大·柯瓦雷夸张地把“知道如何对待实验的荣耀和功勋”这一评价授予了伽利略(Koyré 1968, p. 75)。

牛顿

牛顿的《原理》(Newton 1729/1934)和《光学》(Newton 1730/1979)是现代科学的基石，为早期现代物理学和化学以及随后的历史、社会科学和其他学科提供了概念典范和方法论典范(Butts & Davis 1970, Cohen 1980)。启蒙运动哲学家如约翰·洛克、斯宾诺莎、大卫·休谟、伏尔泰、达朗贝尔和无数其他人都想要通过扩展他们的假说—实验方法来研究道德、政治、宗教、经文、法律和其他需要脑力活动的学科，期望在这些领域中，严谨的研究者之间能够获得可比较

的知识和共识 (Hyland *et al.* 2003, Porter 2000)。正如让·戈林斯基 (Jan Golinski) 所说:

“牛顿为其追随者提供了文化、理论和方法论的资源。他的自然哲学激励科学家奋起直追, 激励作家和讲演者进行推广普及。一旦他的自然哲学得到普及, 就能传递有关宗教、社会和自然的信息。因此, 牛顿作为启蒙运动者成为一个符合多种智力需求的文化符号。”

(Yolton *et al.* 1991, p. 369)

牛顿的科学和系统不仅依赖“实际的”实验工作(从他的钟摆和棱镜研究中可以看出这一点), 而且还高度依赖思想实验。马赫了解其中一些思想实验, 可现代科学教师很少有了解。或许牛顿最有名的思想实验要数他在《原理》第2卷“世界系统”中提到的“炮弹卫星”猜想。这个猜想成为地面力学和天体力学结合的关键部分, 具有划时代的意义, 他证明了符合地球上物体下落的定律同样也符合天空中行星和彗星的运动规律。牛顿写道:

“如果我们思考抛物体的运动, 我们就容易理解, 行星能够凭借向心力保持在固定的轨道中运行; 对一块被抛出的石头而言, 由于其自身重量的作用被迫离开直线路径(如果只有初始抛掷作用, 那么石头应沿着直线路径运动), 在空中画出曲线, 顺着弯曲的轨迹最终落到地面; 被抛掷的速度越大, 在落到地面之前, 它运行得越远。由此我们可以猜想: 这样增大速度, 以致在落地前, 它将画出1、2、5、10、100、1,000英里的弧线, 直到它最终超越地球的界限而脱离地球, 进入太空。”

(Newton 1729/1934, p. 551)

这个思想实验为统一天体力学和地面力学提供了知识基础, 但只靠该实验还不够。重要的是, 图5.1使大众能够看到卫星物理学, 但牛顿仍然需要证明炮弹能够成为“月球”。他利用无处不在的钟摆来完成该证明, 而钟摆是“《自然哲学的数学原理》第一版中用到的唯一的、也是最重要的工具”(Meli 2006, p. 269)。牛顿用这种摆证明: 1秒内, 月球落向地球的距离与地球上的物体落向地球表面的距离几乎完全相同 (Boulos 2006, Matthews 2000, pp. 188-193)。

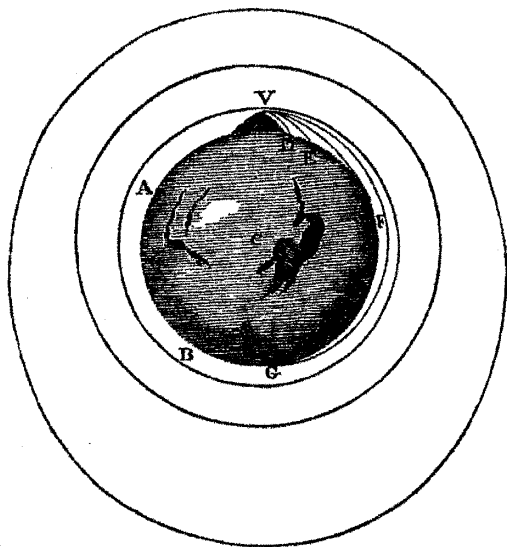


图5.1: 牛顿的炮弹卫星 (出处: Newton 1729/1934, p. 551)

牛顿第二个最著名的思想实验可能是“水桶实验”，该实验对物理学、哲学和神学都产生了广泛持久的影响。在这个实验中，他用静止的一桶水，然后让它们旋转，来解释水和容器的相对运动，以此来论证绝对空间和力的真实存在 (Newton 1729/1934, pp. 10-11)。牛顿的自然哲学系统和“世界系统”依赖、假定或包含关于绝对空间 (以及绝对时间) 与真实运动的思想，而不仅仅是相对运动。对他而言，空间是真实存在的，物体间不存在“虚空的”空间。这不同于笛卡尔和莱布尼茨的宇宙学——即宇宙中只存在物体，空间是物体间的关系，所以空间其实并不存在。对笛卡尔和莱布尼茨来说，所有的运动都是相对于另一个物体而言的，哪个物体在运动仅仅取决于人们习惯上指定为“静止”的那个物体。因此，宇宙并没有存在于空间中，空间只是宇宙物体 (行星、恒星、彗星、树木、云等) 存在的结果。我们没有也不能“看见”宇宙，无法从宇宙“外部”看到宇宙或者说“没有位置来观看宇宙”。因此，这种分歧看起来不易受科学研究的影响；我们似乎不能对宇宙进行实验。然而，牛顿提出一个思想实验来解决这些他感兴趣的问题，他想象在虚空的宇宙中，有一个旋转的桶装满了水 (参见图5.2)。通过此思想实验，他认为能够证实绝对空间的存在：

“如果用长绳吊住一个容器，该容器通常会转动，旋转至绳扭

紧，然后向容器中注满水，使水和容器都保持静止；随即，通过另一个力的突然作用，使容器朝反方向旋转，当绳子解扭时，容器继续转动一段时间，起初水面是平的，与容器开始转动前一样，但此后，由于容器逐渐把运动传递给水，水开始明显旋转起来，一点一点地从中间离开，沿着容器边缘上升，形成凹形（正如我经历的）；转动越快，水升得越高，直到最后水与容器同步旋转，二者相对静止。……起初，当水在容器中的相对运动最大时，它没有试图离开旋转轴……因此真实的圆周运动还没有开始。但是后来，当水的相对运动减弱时，它开始向着容器边缘上升，这证明它试图离开旋转轴；水试图离开轴表明水真实的圆周运动继续增强，直到达到最大，那时水相对容器静止……任何旋转体仅有一种真实的圆周运动，相应的，也仅有一种尝试离开运动轴的力量作为它本身适当且充分的结果……天空中的某些组分和行星确实在天空中相对静止，但却真实运动着，因为它们改变了位置（真正静止的物体从不改变位置）。它们与天空一起运动，并作为旋转整体的组成部分试图离开运动轴。”

(Newton 1729/1934, pp. 10-11)

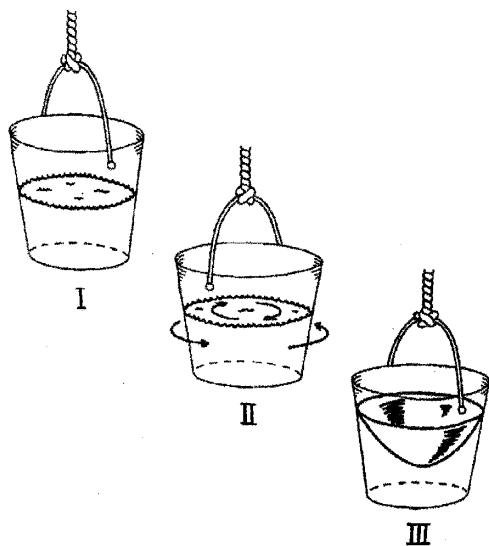


图5.2：牛顿的水桶实验（出处：Brown 1991/2010, p. 9）

在第一种情形（水和桶都静止）和第三种情形（水和桶都运动）中，水相对于桶都是静止的，但第一种情形水面是平的，第三种情形水面是

凹的。牛顿主张只有水的真实运动（离心力）能够解释水面形状的差异，水相对于绝对空间在运动。因此，宇宙中物体的运动应当是真实的，而宇宙的运动在空间中也确实是一个整体。这样，运用思想实验，牛顿从观察实际的水桶旋转中得出不可观察的、非经验的宇宙学结论。他的宇宙学思维形象支持了他的动力学与力和加速度的观点：有真实的加速度，就有真实的力；没有真实的（只是表面上的或相对的）加速度，就没有力。这是对惯性定律的预设，也是解释自然定律时偏向惯性坐标系的原因，因为只有在这种坐标系里，定律才是真的。

原始实证主义者贝克莱（Berkeley）主教（1685—1753）（1721/1965, p. 270）和彻底的实证主义者马赫（1893/1974, pp. 277-287）先后否认了牛顿的观点。马赫抛弃了牛顿的绝对时空概念，因为与其说它们是物理学，倒不如说是形而上学。他认为水面变成凹形是因为水相对于遥远的天体在旋转，而不是相对任何绝对空间；如果水和桶是宇宙中仅有的物体，那么，水面在实验中将一直保持水平。

我们认为关于绝对时空的争论对物理学的概念基础产生了影响，但对于牛顿和其同时代的人来说，该争论带有明显的神学意义，它影响了人们如何解释上帝及上帝对物质世界的创造。当上帝造物时，如果没有虚空的空间，那么上帝在何处造物？非物质又是什么？后一个问题最终导向异教的泛神论答案：即上帝自身（Friedman 2009）。

爱因斯坦

最终，爱因斯坦（1879—1955）追随他的老师马赫否认了牛顿关于水桶实验的阐述。在其1916年出版的有关相对论的著作中，爱因斯坦就牛顿的物理定律仅在惯性坐标系中真实存在这个主张写道：思维方式符合逻辑的人绝不会满意事物的这个条件（Einstein 1916/1961, p. 71）。

接着他又写道：

“我试图在经典力学（或狭义相对论）中寻找一种真实的东西，使其能够解释物体在参照系 K 和 K^1 的不同行为，但毫无所获。牛顿发现了这一缺陷并试图让它变得无效，但是没有成功。然而，马赫清楚地认识到了这种缺陷，因此他主张力学必须奠定在新的基础之上。依靠符合广义相对论原理的物理学，才能消除这种缺陷，因为

这种理论的方程适用于每个参照物，不管其运动状态如何。”

(Einstein 1916/1961, pp. 72-73)

爱因斯坦认识到物理学是通过大胆猜想及相关思想实验不断进步的。在1951年的《自传文章》中，他讲述了自己作为一个青年是如何对当时占统治地位的麦克斯韦电磁方程组的物理解释感到不安的。这种情绪和麦克斯韦方程组的力学解释被一个思想实验化解了：爱因斯坦想象自己在光束的前面与其并行奔跑，并回头看光束（参见图5.3）。他说：

“我应该观察到光束成为静态的空间振荡电磁场。然而，无论是基于经验还是根据麦克斯韦方程组，这种情况似乎都无法发生。”

(Schilpp 1951, p. 53)

他说：“这个似是而非的论断已经包含了狭义相对论的萌芽²²。”接着，他又说：

“对我而言，发现这个中心观点需要的批判性推理方式明显地更进一步……特别是当我读到马赫的哲学著作时。”

(Schilpp 1951, p. 53)

上述内容足以确立思想实验在科学史中的中心地位，正是因为它们具有这种中心地位，它们在科学课堂中也应当占据中心位置。

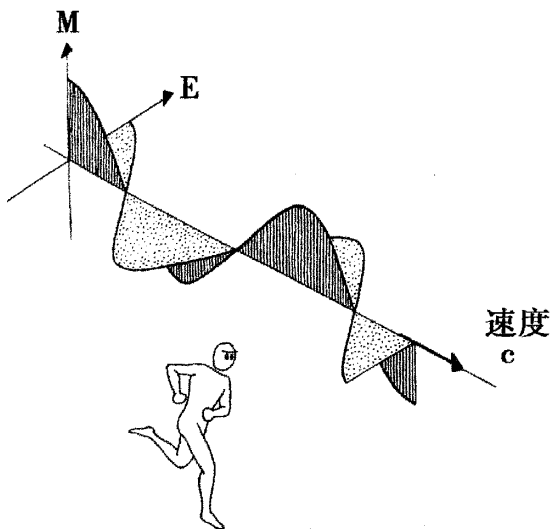


图5.3：爱因斯坦的光束（出处：Brown 1991/2010, p. 17）

科学教学中的思想实验

实证主义者马赫把思想实验引入科学教育中。关于思想实验，他提到：“让人们猜测实验的结果这种方法也具有教学价值……思想实验不仅对专业研究者有重要作用，对心智发展本身也具有重要作用；运用这种方法，无论是学生还是教师都将受益良多”（Mach 1905/1976, pp. 142-143）。思想实验能帮助教师了解学生对一个学科基本概念的掌握情况。在这里马赫指的是任何学科，包括科学、数学、经济学、历史、神学和政治²³。

马赫的《杂志》每一期都为读者带来需要他们完成的思想实验。例如，他问：一杯水处于平衡状态，当一悬挂物落入其中，将发生什么？在另一期，他又问：一只苍蝇在一个带塞瓶子的底部，且处于平衡状态，随后苍蝇飞离该位置，将会发生什么？这些例子是预想型的思想实验，即可以进行实际实验。它们吸引学生的注意，并显示学生对要探究的概念具备怎样的理解。然而，一些思想实验并不是预想型的，而是理想型的，因为没有办法将假定的环境变为现实，如牛顿的炮弹实验、伽利略的球落入穿过地心的井的实验等等。马赫鼓励这种练习，他相信想象力和创造力的练习是沟通人文与科学的另一种方式：“计划者、空中楼阁的建造者、小说家、社会乌托邦和技术乌托邦的创造者都在做思想实验”（Mach 1896/1976, p. 136）。

马赫推崇的思想实验在其所处的时代并未获得多少科学教师的支持。19世纪后期，科学教学法中的想象、假说和创造性思维同当代科学教学法一样没有特色。爱因斯坦将思想实验置于现代物理学的中心，在提到关于自己的学校教育时他做出了如下评论：“对我来说，在通过毕业考试后整整一年的时间里，思考任何科学问题都让我觉得厌恶”；“现代教学方法竟然没有完全扼杀我神圣的探究好奇心，在我看来，这简直就是一个奇迹”（Schilpp 1951, p. 17），这些评论经常被引用。

一些教师按照马赫建议的方式把思想实验引入课堂，这些尝试得到了很好的记载和研究。如果教师能够很好地理解思想实验对科学概念转变的重要作用，并能够坚持运用它来促进课堂概念的转变，那么这会很有成效。目前已经有了对这种关系的充分研究²⁴。很多人都知道南希·内尔塞西安（Nancy Nersessian）的论文，她写道：

“思想实验是科学家改变其概念结构的主要方式。我认为思想实验是一种‘基于模型的模拟推理’，也就是说，思想实验者通过处理思想实验叙述者所描述的情形中的精神模型来进行推理。”

(Nersessian, 1993, p. 292)

适用于科学家的也同样适用于儿童学习科学。马赫就此话题提出：思想实验能使教师知道学生对概念的理解情况。在建构主义之前，马赫很好地认识到有效的教学要求教师熟悉学生对概念的理解程度。

在加拿大安大略省，一些学校课程已经把思想实验与科幻小说中的主题联系起来——如果仿生人以某种速率加速，他的脚会熔化吗？(Stinner 1990)——这类“思维物理学”问题使师生能够确定基本概念，如重力、力、压力等含义并思考概念的适用条件。

爱泼斯坦 (Epstein) 的《思维物理学》(Epstein 1979) 是采用这种物理学方法的典型教材，其中有许多诸如下面这样的练习：

- “苏联第一颗人造地球卫星史普尼克一号返回地球时，因为与外层大气摩擦而减速，当它盘旋着不断接近地球时，观察到的速度应该是减小、不变、还是增大？” (Epstein 1979, p. 157)
- “一个多世纪前，麦克斯韦 (J.C. Maxwell) 计算得到：如果土星环是从一块金属薄板上切割下来的，那么它们的坚固程度不足以承受土星施加给它们的潮汐张力(或引力梯度张力)，这样它们就会被撕裂。但是，假定土星环是从厚铁板而不是从薄铁板上切割下来的，这两种土星环相比，哪种更易撕裂？还是二者一样？” (Epstein 1979, p. 161)

这些练习要求学生思考在描述现象时用到的概念的意义，按照马赫《思想实验》一书的传统，它们就是思想实验。在进行纯粹的计算或经验实验的“方法书”失败的情况下，这些思想实验成功激发了学习者的兴趣。它们支持马赫的主张：“思想实验不仅对专业研究者有重要作用，对心智发展本身也具有重要作用。”

范楞查斯 (Athanasios Velentzas) 和赫利亚 (Krystallia Halkia) 在希腊学校进行了一些思想实验的单元教学和研究。在一个课程案例中，他们要求 40 位 16 岁的学生完成牛顿的炮弹思想实验，通过这种方式理解引力和卫星的运动 (Velentzas & Halkia 2013)。范楞查斯和赫利亚鼓舞

人心的部分结论如下：

“这个研究过程既帮助学生克服了由于日常经验的影响造成他们对物理学定律的理解障碍，又帮助学生改变了关于地球引力场的观念，同时也帮助学生记住了这些思想，还帮助学生在教学介入两周后把这些思想应用于相同知识领域的新的思想实验中。”

(Velentzas & Halkia 2013, p. 2637)

计算机为学校思想实验的开展提供了便利，它解决了日常实验室和学生实验中的一个常规问题，即教师必须完成全部的实验设计和计划(Hodson 1988)。时间有限、不熟悉实验设备、安全等问题造成了学生实验经常被简化为教师预先设计的实验。学习操作技巧、发展观察技能、学会专心致志，这些都很重要，但学生却很难学会概念的、创造性的技巧，而这些恰恰是好的科学课的标志²⁵。计算机能够消除提出假说和检验假说的实际障碍，允许学生将实验外推到理想化的实验情景，即思想实验。前面的注释19已列出了一些对思想实验进行哲学分析的主要文献。哲学家也详细说明了科学研究中计算机模拟的认识论，并就此展开了争论²⁶。正如思想实验一样，这种哲学争论能够促进课堂中对计算机模拟、虚拟实验室和基于计算机的建模信息的使用²⁷。当学生提出认识论问题时，了解HPS的教师能对它们进行详细说明，并引导学生参与讨论。例如，从使用非机械模型“暗箱”来确认关于世界事件的预言中，我们学会了什么？这些内容在经济学中可接受，难道在生物学中就不可接受吗？

科学课堂中的论证与逻辑推理

所有科学教学都旨在发展学生的科学思维和推理能力，让学生变得更有科学头脑，也让学生知道更多的科学知识。然而，科学思维是多方面的，在发现或学习方面包括专注力、观察、假说、创造力、阅读能力、推理等，所有这些都涉及获取和描绘数据、证据或信息的能力。发现方面还涉及其他能力：分享或交流“证据”材料，从中进行适当的归纳推理和演绎推理，等等。科学思维的论证方面包括：论证或确立数据如何影响一个或多个假说或理论，论证或确立一些证据优先于其他证据的原因，等等。因此，科学思维连接并包含了逻辑思维、批判思维和论证，

且最好前两项先于第三项，然后通过社会参与和论证的发展而发展。至少自柏拉图开始，分析这些过程就已成为哲学传统的一部分，并且通过博学的教师的帮助，科学教育为培养这些思维技巧提供了大量机会，而这些思维技巧也会对其他研究和生活决策产生持续影响。

最近几十年，整个科学思维技巧集群都被归在综合标题“科学论证”之下，一本关于该主题的最新论文集的封面文字就是明显的证据，科学论证被说成是“通过包括争论和说服在内的逻辑推理过程，达到论题结论”（Khine 2012）。此领域的两位研究者评论道：

“科学论证很少是严格形式化的（逻辑的或数学的），一般是类比的、因果的、假说—演绎的、概率的、溯因的、归纳的……它们的功能之一是使理论模型看起来可行，并使人们愿意把它们与不断增多的大量现象联系起来。”

（Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo 2003, p. 38）

在对科学思维更广泛、更现实的解释上，哲学家们做出了很大的贡献。他们能够合理地说明这种解释所包含的规范的或哲学的成分：如何把逻辑推理（演绎推理或归纳推理）与非逻辑推理分开？如何把合理的说服与不合理的说服分开？如何区分有理的和无理的？什么构成了信念的根据并将其与信念的理由区分开？不是全部说服都是科学的，也不是全部交流都是争论。星星连成直线的现象可能成为某人信念的理由，但它绝不是这个信念的根据。再次声明，哲学对教育讨论具有明显的贡献²⁸。而这种贡献能够使人们联想到：为了让教育更富成效，科学社会学需要与科学哲学相联系；改变信念的研究需要与认识论相联系；心理学推理研究需要与逻辑研究相联系。逻辑学家早已指出：逻辑是研究人们应当如何思考，而不是研究人们如何思考的一门学科。后者是心理学关注的对象，而不是哲学。显然，教育家需要研究这两个领域，但与此同时也不能忽视这二者的区别。不是全部的信念变化都与教育有关，也不是所有的理由都是充分理由。

目前已经有大量关于论证的理论研究和教育研究，最近的一篇综述文章提到：“在英文、法文和西班牙文中，已有300多个参考文献”（Adúriz-Bravo 2014, p. 1448）。一些著名的论文集²⁹和综述文章³⁰都对已出版的英文研究进行了讨论。

逻辑思维

逻辑思维当然不是科学思维的全部，只是其中的一部分。固执的非逻辑思维既无法促进人文学科和政治的发展，也无法促进宗教的发展，当然也无法促进科学的发展。逻辑思维的开端是清晰的思维，学校通过鼓励清晰写作和进行常规“论证结构”的练习可以有效提升这种思维。在这些练习中，包括：给出几段话，请学生识别前提、中间步骤和结论；接着画出表明其关系的论证图；然后回答相关问题——为了使结论无效，需要否定哪些主张，对于成对的主张，否定两个还是否定一个就能充分否定该主张，关联主张和分离主张之间有什么不同，等等³¹。

大量证据表明，为了提升逻辑思维，学校特别是科学教育需要做更多工作。戈登·科绍（Gordon Cochaud）于1989年在澳大利亚进行了一项小型研究，揭示了学生存在的基本逻辑问题。科绍在澳大利亚一所大学对科学专业一年级的学生进行了一项包括10道题的简短的逻辑测验，其中一道题，学生必须填写结论：

把氯离子加入银溶液中，会产生白色沉淀物。如果把氯离子加入K溶液中，产生了白色沉淀。那么……

该小组的65个学生中，有48个断定K溶液中含有银。这组成绩优秀的高中毕业生至少已学了六年科学，然而接近四分之三的人都存在着基本推理缺陷。这无需惊奇，作为公民，他们也会被以下论证迷惑：

共产主义者支持工会主义。

佛瑞德（Fred）支持工会主义。

所以，佛瑞德是一位共产主义者。

另一道题的结果令人震惊。它要求学生完成下列三段论：

如果一个元素的电负性低，那么它是金属。

钠元素是金属。

所以……

仅根据上述信息，65个学生中有59个断定钠的电负性低。他们的答案碰巧是对的，但不能根据上述信息得出这样的结论。只有第一个前提是

“当且仅当……”时，才能得到此结论。因此，90%的优秀高中毕业生都易犯基本的逻辑错误。这无需诧异，下面的论证形式非常常见且具有说服力：

如果人们奸诈又虚伪，就能得到福利金。

佛瑞德得到福利金。

所以，佛瑞德奸诈又虚伪。

在基于民主决策的社会中，对陪审团审判和其他许多事情而言，这还挺让人担忧的。

很多的课程文件已经认识到科学能力在推理方面的重要性。在对此问题的一项综合研究中，埃胡德·琼沃思（Ehud Jungwirth）列举了出许多涉及批判—逻辑—分析思维技巧的课程报告，其中包括：

- 使学生能够掌握科学方法并培养他们的逻辑习惯和系统思维（Senior biology, Cape of Good Hope, South Africa, 1977）；
- 寻找和识别论证和无效结论中的逻辑错误（Queensland Board of Secondary School Studies, Australia, 1983）；
- 有科学素养的人应具备一些基本的知识和过程技巧，这些能使个人有逻辑地进行思考（National Science Teachers Association, USA, 1982）。

琼沃思研究了来自三个国家的600名中学生、400名受训教师（科学教育研究生）和大学科学专业学生的推理过程。他运用课程测试项目和课外（生活）测试项目来呈现下面几种错误推理：

1. 假定跟随他人的事件是由他人引起；
2. 基于不充足数量的例证得出结论；
3. 基于非典型例证得出结论；
4. 把某事在特定环境中是真的假定为普遍是真的；
5. 将因果关系归于相互关系；
6. 同义反复推理。

他的调查结果不那么鼓舞人心，它表明推理不仅对科学、对一般的社会事务和个人事务（如选举投票、购买汽车、决定学校董事会政策、确定烤蛋糕出现了什么问题，等等）都具有重要作用，他的调查结果在表

5.1进行了完整的概括，其中的百分比指犯上述1—4推理错误的人的百分比。

表5.1 无效推理的发生率

错误推理的类型	中学9—12年级		大学生	
	课程 (%)	生活 (%)	课程 (%)	生活 (%)
1	40	50	30	25
2	30	40	30	40
3	15	50	60	60
4	35	50	30	60

琼沃思的报告显示：关于上述第5和第6两种错误推理的调查结果与前4种类似。综合全部调查结果，他对结果进行了如下总结：对于成人而言，只有研究生的表现达到了50%以上的水平，其他高中生组都低于（或远低于）50%；在生活测试方面，没有一个成人组表现超过2/3的水平。对于中学生而言，在课程测试方面，没有一个组能够略微超过25%的水平；而在生活测试方面，分数大概为课程测试分值的两倍（Jungwirth 1987, p. 51）。琼沃思得出合理结论：应把时间花在科学课程中正确推理的入门上，教师的职前和在职培训应传达这一信息——“涵盖大量知识”并不是科学教育的唯一内容，甚至不是主要内容（Jungwirth 1987, p. 57）。

琼沃思还注意到这样的事实：在这个推理领域中，盲人领着盲人前进。或者就像马克思所言：“谁能教育教育者？”琼沃思对教师思维技巧的研究进行了梳理，然而发现没有哪项研究结果比学生思维技巧的研究结果更好。阿诺德·阿伦斯（Arnold Arons）指出：

“把需要抽象推理能力的材料强加给大部分学生，迫使他们盲目记忆，但学生还不具备这些抽象推理能力，并且许多老师自己也不具备这样的能力。”

（Arons 1974）

在实施完成了《逻辑思维测验》后，加尼特和托宾（1984）总结道：“许多教师自己不具有推理方式，然而科学课程中的活动却试图发展这些

推理方式”。

科绍和琼沃思的研究揭示，正式和非正式的逻辑推理应当作为科学课程内容的一部分。科学家总是需要进行推理和总结，在学校中以某种非逻辑或者无效的方式进行推理和总结只会止步不前，也不能达到好的科学教育想要实现的从科学到其他研究再到生活中其他事情的传感效应。

下述形式的逻辑错误在日常出版物和学术文献中很常见，学生可以通过识别和避免它们训练逻辑推理能力：

- 肯定后项错误

如果P，那么Q

Q

所以P

- 否定前项错误

如果P，那么Q

非P

所以非Q

- 不相容选言命题错误

P或Q

P

所以非Q

前一章阐明了历史维度的科学教育具有的优势。此外，科学史能够提供一种媒介，给学生介绍一些基本逻辑关系，并表明逻辑与具体的科学推理之间是否有关联且如何关联。例如，考虑一下以前讨论过的关于光电效应的争论。课堂中很容易展示光电效应、甚至密立根实验。除了运用爱因斯坦的光子理论和他的方程式作为科学“皇家公路”连接两个著名实验外，我们还可以做些其他事情。历史研究法表明，即使是伟大的科学家，在提出他们的思想时也会踌躇；在任何时候，对数据的感性或理性解释都可能是多种多样的。最后，历史研究法认为数学方程（或模型）与他们所描述的物理解释之间存在决定性的区别。

历史证明，20世纪早期，关于发射光电子能量和入射光频率之间的关系提出过多种假设。哲学提出这样的问题，即数据是否能证明某一特定理论且如何证明。许多不同的理论或方程能够指向同一组数据点。这

些数据点并不能独立确定某一特殊曲线或方程，更不用说方程的某一特定物理解释。如果能够引导学生充分理解这一点，那么学生马上就会认识到亚里士多德在公元前4世纪所认识到的，即他所谓的肯定后项错误。亚里士多德及他之前的人曾证明下列论证形式无效：

T 意味着 O (理论 T 意味着观察 O)

O (观察到 O)

所以 T (理论 T 为真)

这个结论是不合理的，因为不仅 T 意味着观察 O，许多其他的已知或未知的理论也意味着 O。假说“昨晚下雨”意味着“路将是湿的”；但同样，“公路清洁车路过”、“总水管破裂”或“打开草坪水龙头”这些假说也都意味着“路将是湿的”。因此，观察到路是湿的不能证明任何假说。

从亚里士多德时代到今天，这个简单的逻辑要点一直是自然科学经验论方法的绊脚石。人们普遍认为，确证的预言为理论信仰提供一些依据。然而，这个逻辑要点是：这种确证不能确定理论为真，所以需要重新思考确证的预言所暗示的真。在中世纪，这就是著名的“拯救表象”问题³²。

这个基本的逻辑要点是：事实对多种解释开放，或者，科学理论不完全由证据决定，这通常被称为“迪昂—奎因论题”。皮埃尔·迪昂 (Pierre Duhem) (1861—1916) 在他的著作《物理理论的目的和结构》(Duhem 1906/1954) 中强调了 this 逻辑要点；波普尔 (1902—1994) 在其著作《科学发现的逻辑》(Popper 1934/1959) 中详细说明了 this 逻辑要点对科学的一些影响；奥曼·奎因 (Orman Quine) (1908—2000) 在其著作《从逻辑的观点看》(Quine 1953) 中，进一步发展了这一要点。“迪昂—奎因论题”有两种形式：一种是阿奎那描述的，即不能用肯定的预言结果来确定理论为真；另一种是迪昂描述的，也就是即使预言被证实是虚假的，也不允许我们断定理论为假，因为预言结果不仅来源于所考虑的理论，还来源于对该理论和背景信息的陈述。就迪昂而言，“背景信息”或“逃离限制”的假设存在限制，这能够从经验证据证伪中拯救理论；而对于奎因来说，却没有这种限制³³。奎因说：

“我们所谓的知识或信念的整体，从最随意的地理和历史内容到最深刻的原子物理学定律（甚至纯粹的数学逻辑定律），都是在边缘

对经验产生影响的人工产物。”

(Quine 1951/1953, p. 43)

在简单的学生实验、“黑箱”练习和其他活动中，学生从可见变量的表现中猜想未见的联系，这些活动能揭示大多数逻辑错误，并说明事件的不同解释，但它们却没有提出以下重要问题，即实际上科学是如何进步以及怎样确定最佳竞争理论的。历史研究提供了一个能说明良好推理要素的情境。历史范例也能为学生展示科学的“超逻辑”维度，如在决定理论和研究计划中形而上学信仰所起的作用，在科学论证中类比和隐喻的合理及不合理运用，等等。

科学理性的社会学挑战

至少从亚里士多德以来，哲学家就一直在关注理性思维的识别与提升——尽管没有假定它是唯一有价值（或应培养）的人类思维。有长期存在的观点认为：尽管在科学理论和假说的提出上没有康庄大道，但科学代表了对主张和与之竞争的信念做出合理评价的范围。在科学中，任何地方偏离了理性思维，就必须识别这种偏离并证明它的合理性。这种对科学理性主义的信仰是启蒙运动的典型，或者更广泛的说是近代科学观的典型（Siegel 1988, 1989）。然而在过去几十年间，这种对理性主义的理解遭到来自三方面的抨击：一方面来自科学哲学内部，一方面来自一些科学社会学家，第三方面来自法国后现代主义哲学家和受他们鼓舞的一群人。

这些对理性的抨击对科学教育工作者具有重要影响，因为它们挑战（即便不是颠覆）了进行科学教学的中心理由之一，也就是说，科学教学把孩子们引入一个理性思想和争论的领域，该领域对孩子们接下来的学习和生活有值得称赞的“持久”影响。如果认定科学争论是“群众心理学”，科学进展只是受最强大经济或政治组织所强制的，是独立于其认知价值的，那么将科学纳入课程的依据就被大大弱化了。

正如著名的“康德通过阅读休谟的著作从自己的教条麻木状态中惊醒”那样，众所周知，现代理性主义科学哲学家也被库恩的《科学革命的结构》（1962/1970）惊醒。库恩的观点被广泛理解为：科学理论的改

变同依赖于理性的说服一样，也依赖于群众心理和老年科学家的死亡率³⁴；不必把科学进步诠释为向着自然真理的固定目标前进。费耶阿本德（Feyerabend）在他的《反对方法》中扩展了这一论题。科学哲学家回答了许多非理性主义的指责³⁵，但不久爱丁堡学派的科学社会学家在对科学变化的完全外部阐述（所谓知识社会学的“强纲领”）中批判了理性主义。强纲领的先驱是大卫·布鲁尔（David Bloor）的《知识和社会意象》（1976/1991），随后在短短几年时间内，出版了巴里·巴恩斯（Barry Barnes）的《利益与知识增长》（1977）以及布鲁诺·拉图尔（Bruno Latour）和斯蒂芬·伍尔加（Stephen Woolgar）的《实验室生活：科学事实的社会建构》（1979/1986）³⁶。科学史和科学哲学似乎发生了激进的社会学转向。

强纲领的前身包括卡尔·曼海姆（Karl Mannheim）（1936/1960）和罗伯特·默顿（Robert Merton）（1957）的“弱纲领”，但这两个历史社会学家仅希望识别塑造科学的文化、社会和意识形态因素，他们不相信这些外部环境能够产生具体的科学内容或导致具体的科学发现。科学依赖于数学、技术、教育、资金、交流方式、哲学等，弱纲领的这些识别令人称赞。卡尔·马克思（Karl Marx）（1818—1883）提出了弱纲领，在《路易·波拿巴的雾月十八日》的开篇，他写了如下著名的话语：

“人们创造自己的历史，但不是想怎么创造就怎么创造，他们不能在自己选择的条件下创造，而是在过去发现、赐予和传承而来的条件下创造。”

（Marx 1852/1969, p. 398）

马克思、曼海姆和默顿都不相信如果把牛顿培养成印度教徒，或者在17世纪的英格兰资本主义已经成功，就会让引力平方反比定律变成引力立方反比定律。然而，爱丁堡的科学知识社会学家却认为，他们的研究纲领致力于阐述科学内容的外部原因。

跟随这些思想潮流，法国后现代主义哲学，特别是受迈克尔·福柯（Michel Foucault）影响的哲学声称，包括科学在内的全部思想系统都与权力的社会分配紧密相连，思想变化不是由认识因素而是由社会因素来决定的。这是马克思物质基础决定社会上层建筑（思想和意识形态系统）

思想的延续。马克思主义传统为数学和自然科学是否受这种决定的支配争论了很久，认为数学在一定程度上能免除这种支配。而福柯及其传统也面临着同样的问题³⁷。

科学教师和教师培训者需要意识到这些对科学理性假设多方面的抨击。随便浏览教育理论书籍或科学教育期刊，上述这些人名都会跃入眼帘，从他们的工作中人们可以得到关于“科学的本质”和良好科学教学的各种结论。许多社会学工作能够提供信息，拓展我们对科学中如何进行决策以及理论变化如何实际发生的理解。科学共同体中精英的作用以及他们对出版机构的控制，浮夸的言论在科学论证中的作用，经济权力和利益在决定研究资金和研究问题方面的影响——这些都是需要考虑的事情，并为科学事业提供了更丰富、更实在的观点。此外需要指出的是，理性概念随着时间推移已经发生了改变：亚里士多德的理念不同于英国经验论的理念，而后者又不同于现代证伪主义者或贝叶斯概率论者的理论。在强纲领和后现代主义对科学理性的抨击中，虽然存在着理性的历史维度，但也存在许多对教育有害的基本错误（Shackel 2005）。

布鲁尔列举了四项条款来描述科学和科学知识强纲领理论的核心特征（Bloor 1976/1991, p. 7）：

- 因果性：一个恰当的科学解释是有因果关系的，这涉及引起个人信念或科学理论的条件。
- 公正性：公正地对待真和假、理性与非理性、被接受或拒绝的理论。
- 对称性：解释类型对称，即同类原因将说明真和假、理性和非理性以及信念。
- 自反性：它应该是自反的。原则上，其解释模式必须适用于社会学本身。

科学的规范，甚至科学理论和信念的出现都要有必要条件，认识到这一点是重要的一步，但把这些必要条件转化为充分条件却是错误的。牛顿学说和达尔文学说分别与17世纪和19世纪的英格兰生活和文化相联系，人们甚至可以说这两个学说产生于它们的文化，但后者却无法解释前者；信念的来源并不能说明其真假。这是根源性谬误。有无数人与牛顿和达尔文的生活环境相同，但可以认为，他们周围的环境并没有促使他们得到各自的理论。被强纲领社会学家忽视的最重要的事情是作为信

念基础的理论的真实性或合理性。如果把理由认作原因，那么该争论的大部分热潮将消退。如果能够找到信念作为产生信念的充分理由，那么社会学家、哲学家和教育者都将在同一条船上。

对于人们相信“ $2+2=4$ ”这件事，没有理由去寻找外部的社会原因。但是如果人们普遍相信“ $2+2=5$ ”，那么就会有人去寻找外部原因：“是国王相信等于5吗？”“执政党要求等于5吗？”“4是不吉利的数字，不能提吗？”“那个人的老师特别无能吗？”信念越不可能、越错误、越不理性，人们就会越积极地探寻其外部原因。然而，强纲领的公正性命题将这种常识选择排除在外。第八章将就建构主义就是这样一种不确定的教育/哲学理论进行讨论。心理学家大卫·吉尔里（David Geary）赞同对建构主义的评估，对它的广泛流行提出了外在的阐述：

“总而言之，建构主义很大程度上反映了当代美国文化信念，其本身涉及教育技术的发展，这些教育技术试图使‘获得复杂数学技巧’成为‘基于个人兴趣和选择的快乐的社会事业’。”

（Geary 1995, p. 32）

在最高层次的社会活动中，经常会将“确定在一些特定实例中实际发生了什么”和“声明从事科学通常应发生什么”混淆。在17世纪早期，弗朗西斯·培根（Francis Bacon）就提醒读者注意他称之为“心灵假相”（The Idols of the Mind）的活动。有很多种方式会阻碍人们对世界的理解：用现有的不恰当的语言思考和写作；出于有害的一己之私的影响，人们更愿意相信他们愿意相信的；直接运用统治集团所拥有的社会权力。许多当代的科学社会学是对先前培根研究的拓展。然而，培根尽力明确“假相”活动，只是为了克服或弥补它们的影响，即他在追求知识中区分了偶尔发生和应该发生的事。每当社会学家指向当代的假相（或乔装打扮的旧假相）时，都可能问这样的问题：在科学中，是否需要这种机制、程序或影响？后面这个标准化问题是科学哲学家提出的，并且也鼓励学生提出这样的问题。如果阶级、性别、种族、权力、宗教、私利等的影响被认为是有害的，并与科学事业对立，那么描述这些被认定为失败的、与理想相违背的就是合理的。

现在，如果没有发现“科学变化中认识论或证据考量是决定性因素”

这一情况，那么理性事业将陷入困境；但是如果没有发现“非认识论考量是决定性因素”这一情况，那么就没有理性事业的困境。确实，许多文献记录，智力测验及相关理论的悠久历史如今看来几乎完全由隐秘含蓄的阶级、种族和性别利益驱动³⁸。现在，流行苏联几十年的李森科主义遗传学（更准确地说是“反遗传学”）被看做部分是由共产党利益驱动的、部分是由错误的形而上学驱动的³⁹。然而，这些案例能被识别值得我们的注意，因为我们意识到它们偏离了适当的科学程序。

此外，没有这种规范信念，我们就不能抱怨上述这些偏差：如果权力是知识，那么，无疑白人、男性统治阶级都有权力，所以根据释义，这种权力的操控必定导致知识。几乎没有人愿意接受这样的结论，至少少数民族和没有权力的那些人不愿意接受这样的结论。

以上所述足够表明关于科学理性的论证与科学教学密切相关。哈佛·西格尔（Harvey Siegel）认为理性以及上述理由是科学教育的标志（Siegel 1989, 1993）。信仰的地位对科学发展非常重要，马丁·伊格（Martin Eger）就这种观念如何发挥作用发表了看法（Eger 1988, 1989）。信仰或哲学信仰不必是非理性的。这种信仰能被其科学成就或实验成就或启示的评价检验。西格尔（1993）探索自然化的科学哲学，还探讨了如果这种探索成功，将如何影响我们对科学理性的理解，如何影响科学课堂教学。这些以及其他争论应在教师培训中找到属于自己的位置，并为学校科学教学提供信息。

伦理、价值和科学教育

伦理问题在科学课堂中日益凸显。下述问题最初由学生提出，最终出现在国家新科学课程中，如：温室效应、全球变暖、污染、物种灭绝、遗传工程、针对“不想要的”疾病或性别进行胚胎基因检测、国防工业中的军事技术和雇佣科学家、科学研究的成本和方向、核能、核战争等。这些主题明确出现在STS（科学—技术—社会）和SSI（社会性科学议题）定向决定的课程和项目中，并希望学生把它们作为课程的一部分来对待⁴⁰。此外，它们是大多数NOS学习目标的组成部分。“伦理判断”的发展也是“都柏林指标”认可的目标，是欧洲大学融入全部大学计划普遍采用的一个指标（Aalberts *et al.* 2012）。

教师需要尽力使伦理讨论跟科学课堂讨论一样深刻。这要求教师熟悉他们所教学科的历史和哲学，还要求教师在一定程度上熟悉常见的伦理推理。简单地修改或主张“万能做法”会有帮助，但不会起很大作用。认真解决这些伦理和社会问题最终会使教师获益，并丰富他们的课堂⁴¹。正如安娜·考勒（Anna Couló）所说：

“对科学教育而言，从社会性科学议题（SSI）中比较容易找到以下两方面有趣的资料：非认知价值在资助科学研究中的作用，以及科学探究的技术成果。然而，找到围绕更紧密哲学观点的相关著作尽管不是不可能，却很困难。”

（Couló 2014, p. 1090）

社会—技术—伦理问题是不可避免的，同时也应当予以重视。HPS、道德和政治哲学都能为更细致充分地讨论这些问题做出贡献。但如果这种讨论只是在喊口号，或重复当下常见的偏见，那么无论是教师还是学生都无法从中获益。

科学和伦理的相互联系在当代人类遗传学项目中特别明显。人类基因组计划的预算为30亿美元，其中3%的费用（9,000万美元）用来研究伦理和法律分支。在美国，至少有3个州和联邦的遗传学教育计划明确划分了人类基因组计划的伦理和宗教维度⁴²。概述生物科学课程研究（BSCS）项目的94页文件，被发放给全美生物学教师。除基因组计划外，学生也将参与基因组计划中基因筛查和其他技术带来的伦理和政策问题的分析与争论中。是否允许雇主对未来的求职者进行亨廷顿舞蹈病的基因筛查？是否应禁止那些遗传上被鉴别为易酒精中毒的人饮酒？关于这些情形，有如下说法：

“个人、机构（学校、企业和其他组织）以及社会将不得不面对这样的情形：促进了某些利益的发展，损害了另外一些利益。当不能促进每个人的利益发展时，当促进一些人的利益发展以损害另一些人的利益为代价时，谁的利益应该优先？关于‘应该’的问题更应当由伦理学和公共政策来解决。”

（BSCS 1992, p. 15）

最近，美国卫生研究所公布了9-12年级的生物伦理学课程，该课程明确由生物学及植根于其中的伦理问题组成（NIH 2009）。

2005年以来，英格兰和威尔士为16-18岁的高年级学生开设了一门生物学课程——桑尔特—纳菲尔德高级生物学（Salters-Nuffield Advanced Biology），该课程采用情境教学法，重点强调生物学的社会方面和生物问题的伦理分析。该课程的开发者之一迈克尔·赖斯（Michael Reiss）为科学课堂中教授伦理学提出四个理由：提高学生的伦理敏感度、增加学生的伦理知识、提升学生的伦理判断、使学生成为更好的人（Reiss 2008）。

诺曼·莱德曼（Norman Lederman）在一篇颇具影响力的论文中提倡NOS教学，他写道：所有学生都应该学习“科学知识及其发展所固有的价值和信念”（Lederman 2004, p. 303）。然而，这种告诫却没有实行，因为要教授的固有价值未被阐明。它们也没有作为七个交叉重复的NOS特征之一被列举出来（Lederman *et al.* 2002）。HPS有助于丰富科学的决定性特征，从而提高教学质量。

外在于科学的价值

学生也许能认识到，经济、政治、宗教和哲学的价值在科学发展中发挥外在作用。这在本质上是有益的，它约束着科学家的过分行为。资助哪个研究领域依赖于价值以及利益竞争的结果。在医疗、农业、通信和武器研究中，这种影响显而易见。众所周知，在1961年，当时即将卸任的总统艾森豪威尔（Eisenhower）提到了著名的“军事—工业综合体”带给美国社会的危险，更准确地说，他可能已经提及“军事—工业—科学综合体”。在纳粹德国⁴³、苏联⁴⁴和美国⁴⁵，即便不是全部，也有大量的科学资源被用于军事研究、大型商业研究和国家商业研究。当然，中国和英国、日本、加拿大以及几乎所有其他经济发达国家都是如此。在所有这些国家中，军事—工业—科学综合体依赖于学校科学课堂，如果后者没有思想、不加批判，那么前者也很可能如此。

请看一个微观实例：20世纪70年代后期，美国农业—商业组织资助加州大学数十万美元研制一种能使用机器采摘的西红柿，借以对抗塞萨尔·查维斯（César Chávez）领导的农场工人联合会罢工。当时，

西红柿几乎是最后一种需要依靠大规模劳工进行商业性农业生产的农作物，这可谓是罢工行动的契机。大学科学家本来可以研制出在城市后院或屋顶长得更好的西红柿，但他们受到农业—商业组织的资助，研制的是立方体的西红柿，这种西红柿更健壮、皮更厚、保存期更长、大小更均一，且易于包装和制造商业三明治。科学被组织或个人利用，并相当清楚为谁的利益服务。人们广泛认识到这种联系，结果形成了诸如“科学为人民”、“核裁军科学家”等团体。这也成为国际科学和技术教育组织（International Organisation of Science and Technology Education, IOSTE）做出如下声明的部分原因：

“我们的使命是在为人类服务中，鼓励以和平和道德的形式运用科学技术，与此使命一致，IOSTE反对政府或其他组织将科学技术用于伤害平民的军事目的。”

(<http://ioste.nmmu.ac.za>)

不仅军事、政治和商业利益影响科学，哲学也同样如此。这是一个广为人知的论点，由亚历山大·柯瓦雷（Alexandre Koyré）表述如下：

“这确实是我的论点，这种‘哲学背景’的作用总是最重要的，在历史上，哲学对科学的影响，同大家所认可的科学对哲学的影响一样重要。”

(Koyré 1954, p. 192)

形而上学是否确实存在于科学之外，这是一个得到广泛讨论的议题；形而上学内在于科学的情况是广泛存在的，在本章开始的几页讨论过。

此外，宗教利益是对科学的形成和轨迹产生重要外部影响的一个方面。在天主教具有强大政治势力的国家，很少对避孕、安全堕胎、简易安乐死等进行研究，克隆和干细胞研究也被严格控制。在伊斯兰教地区，对人类起源的研究几乎可以忽略。同形而上学一样，神学观点内化于不同的科学范式及这些范式的研究——看看前面讨论的牛顿的绝对空间及其神学信仰的实例就知道了。牛顿说他写《原理》是为了“人们可以信仰”，在这里，宗教为该著作提供了明确的外在目的或动机。但许多人说牛顿的宗教没有留在《原理》之外，而是在著作的论证中显示出征兆。

在普里斯特利发现光合作用的过程中，他对天意的信仰发挥了同样的作用。持续的智力（和政治）斗争使科学失去了纠正指引或激发它的宗教信仰的可能性。

著名的科学史学家克龙比（Alaistair Crombie）提出，尽管在13世纪或14世纪并不缺少聪明的、学问精湛的自然哲学家，但科学革命为什么没有发生在那个时期，当他推断这一问题时就考虑到了宗教对科学的影响：

“虽然中世纪做了一些关于特定问题顶尖的科学工作，但其研究未考虑神学、哲学甚至方法论，中世纪最重要的科学发展出现在与神学联系紧密的一般哲学框架内，特别是出现在由神职人员控制的大学研究系统内。”

（Crombie 1956, p. 114）

由全能的天主教控制的知识环境把特定哲学（托马斯主义）作为神学的“侍女”，它轻而易举地阻碍了近代科学的兴起。克龙比接着说：

“它解释了在许多原本杰出的工作中出现令人困惑乃至完全荒谬的东西的原因。例如，它有助于说明长期坚持的实证检验与从未被观察检验的一般主张之间的分歧；更糟糕的是，满足于错误或不可能的想象实验。”

（Crombie 1956, p. 116）

这并不指向伽利略与世皆知的不需要教授或宣传哥白尼的世界系统的主张。两个世纪以前，这种影响不那么直接，更多的是作为当时基本知识结构的组成部分，但这种影响确实有效。这可以与科学在所有反动或专制制度中的情形相提并论，形而上学在科学控制之外，且限制科学理论的建立和评估。在天主教、伊斯兰教、印度教国家中有这种情形。在美国也有悠久的斗争，正统派基督教徒控制地方学校董事会，基于宗教原因阻挠进化论的教学。

在分析的第一层次，对科学的这些影响以及科学所产生的影响是外在于科学的，这种分离是将纯科学与应用科学进行区分的一个原因。认识和评价外在影响对每个人都有益处。不必也不应该把这种评价和讨论

限制于科学课中，历史、社会科学、经济、文学和宗教课中也能进行这种评价和讨论。一个共同的假定是这些价值（政治的、商业的、哲学的、宗教的、个人的）属于科学环境，而不属于科学行为本身，科学自身是无关价值的。使用休谟的术语，科学关心“是什么”，价值关心“应该是什么”，两者之间没有任何连接通道，后者是伦理、政治、宗教和风俗的领域。下面将概述这个共同假定的一些问题。

无涉价值的科学

“无涉价值的科学”这一观点来自于马克思·韦伯（1864—1920）当时的进步观念：社会学家应说明社会的结构和功能，而不是说明他们自己的政治、宗教或阶级如何设想或评价社会（Weber 1917/1949）。在反动的普鲁士，韦伯是一个勇敢坚定的政治自由主义者和民主主义者。他认识到了解现实有利于“进步”运动，而不是幻想现实或把现实看做是我们想要的。早期实证主义者也持相同立场，他们具有自由、民主和社会主义思想，接受马赫的知识观点和政治指导。对于这些实证主义者来说，事实和价值分离，好的科学无涉价值。对于绝对的实证主义者而言，价值陈述在字面上没有意义，不能成为科学的组成部分。许多科学教师持有并支持这种“无涉价值的科学”观点，他们相信追求知识本身不包含价值。汤姆·莱勒（Tom Lehrer）的抒情诗使这种观点美名远扬，或是臭名昭著：

“一旦火箭升于天际，
所去踪迹谁将念及？
我之所学差以千里。”布劳恩说。

但是，HPS的思考使“无涉价值”的立场更突出也更有趣，HPS的评价对教育更加有益。

长久以来，大众普遍认识到科学行为的外在影响，或更普遍地说，对认识世界的外在影响。培根在《新工具》（1620/1960）中写到心灵假相以及需要识别和矫正的心理、语言、经济和文化影响，这些影响可能扭曲认识⁴⁶。争论的第一部分是关于是否全部影响都已被识别——女权主义者认为，培根没有列出性别因素，这一点可以理解，但是之后其他人

也都没有列出性别因素；马克思主义者关于阶级提出了相同的主张；同性恋理论家对科学中异性恋假说的功能也有相同的主张；本土科学的支持者指向未经检验的“西方”假定；等等。争论的第二部分是关于这种影响能否被矫正，特别是社会价值和个人价值对科学行为的影响。如果影响是局部的且不可矫正的，那么，这种不可能性就会冲击科学的客观性或普遍性。

在《新亚特兰蒂斯》中，培根认识到，伦理价值和文明价值需要为自然哲学行为提供担保。这些价值在皇家学会的工作中得到了体现。在那里，诚实、文明、宽容和谦逊是理想的品格，甚至是规则（Sargent 2005）。众所周知，在培根之后300年，罗伯特·默顿极好地规范了科学行为所要求的伦理价值。他说，科学公共事业为了能够成功追求其发现世界和有效参与其中的目的，需要包含四种价值（Merton 1942/1973）：公社主义（向公众公开和公布科学结果）、普遍主义（任何人都能从事科学，不管其宗教、种族、阶级、性别等）、无私利性（科学从业者说出真理，不考虑个人得失）、怀疑主义（所有主张有待批判、争论，并可能被放弃或修改）。在副标题为“知识的社会维度”的著作中，约翰·宰曼（John Ziman）添加了“独创性”（科学探寻新真理、接受新方法、使用更好的说明和理论）（Ziman 1968）。这使默顿科学规范的首字母可以更方便地缩写为CUDOS（communalism, universalism, disinterestedness, originality and scepticism）。

当然，为了知道科学自身成功的先决条件，不必等待默顿的出版物，他只是综合概括了长期的实践。然而，认识到这些规范就会使价值越过护城河进入科学城堡，“科学无涉价值”的思想或意识形态就无法继续保留；或者为了坚持这种思想，只有进一步退入城堡的主楼中。正如默顿概括的那样，人们同意科学是承载价值的活动，价值支配科学的组织和行为，也就是城堡的构造，但没有支配其核心决策。如果对默顿环境中产生的科学主张、假说和理论进行判断决策，那么这种决策是无涉价值的。用赖兴巴赫（Reichenbach）的话来说，价值无疑支配着发现情境，但在辩护情境中没有位置（Reichenbach 1938, pp. 6-7）。

科学无涉价值的捍卫者只能暂时止于这种观点。60年前，在实证主义者菲利普·弗兰克（Philipp Frank）主编的一本书里（Frank 1954），

巴林顿·穆尔 (Barrington Moore) 写道:

“今天, 很少有人会坚决主张接受科学理论, 甚至科学家自己对科学理论的接受完全依赖于支持这些理论的逻辑证据。与科学家生活于其中的哲学环境和社会环境相联系的外部因素至少起到某些作用。因此, 令人感兴趣的问题不是确定这些因素是否存在, 而是评价其在不同条件下的影响程度有多大。”

(Moore 1954, p. 29)

穆尔的论文聚焦于苏联科学, 他的论文不只探讨研究方向或者研究领域, 还探讨理论的接受。他认识到, 所有大型人类团体都需要“人生目标以及实现这些目标的方式是否正当的信念, 这些信念构成该团体的政治真理”(Moore 1954, p. 35)。也许, 他可能在说这些信念构成该团体的“世界观”。尽管穆尔承认外在影响, 也承认美国和苏联有相似性, 但是, 像培根一样, 他仍然想要这种影响与科学分离:

“科学为了使其命题有效而发展自己的原则, 因此, 有可能出现这样一个时期——政治信条和科学信条相互冲突的时期。”

(Moore 1954, p. 35)

内在于科学的价值

巴林顿·穆尔尚未回答科学信条自身是否包含价值, 但理查德·拉德纳 (Richard Rudner) 对此问题却给出了明确答案, 在其标题为《理论接受中的价值判断》的论文集中的一章, 他写道⁴⁷:

“我认为这种验证本质上包含典型伦理问题中的价值判断因素, 而且我必须特别强调指出: 作为一个心理学事实, 不仅科学家在验证过程中做价值判断 (因为他们作为人类是如此构成的, 以致这样做是不可避免的), 而且这种判断因素充满逻辑地包含在科学假说的验证中, 因此, 此过程的逻辑重建必然导致这样的陈述——价值判断是该过程中必要的一步。”

(Rudner 1954, p. 24)

这直接挑战了长久以来的实证主义观点, 即价值在理论验证的科学核心

之外。穆尔把价值带入科学城堡的主楼。他总结到：

“需要提出的是，科学客观性至少依赖于给定的探究中正在做的价值判断以及已经做的价值判断是否准确；用最具挑战的形式表明应做什么价值决策。”

(Rudner 1954, p. 28)

对于这种解释，以下主张是很直接的：制定与科学相关政策的科学家显然必须要做价值判断。在建议市镇供水中应加入多少氟以确保有效预防龋齿时，如何权衡金钱和健康？当推荐一种新药申请政府批准时，科学家要权衡这种药已知的良性效果和推迟批准可能导致未知的有害后果之间的矛盾。这些无可争辩都是科学家所做的价值判断。

50年前，哲学家在回应拉德纳时阐明了这种观点，即科学包含某种疾病在某种环境中的发病率。根据费用和对生命的危险程度，“政策”建议提高或降低这个概率，但政策建议不要以科学家的身份出现（Levi 1960）。这个主题随后得以澄清，但哲学和政策共同体仍在争论“无涉价值”的问题⁴⁸。

从培根到早期实证主义者，另一种论证解释是这些论证要从促进科学的价值中识别和分离出扭曲和阻碍科学的价值。的确，科学中可能存在价值（非经验的主张和判断），但非常重要的一点是把不正当科学价值与正当科学价值分离开来。

1973年，托马斯·库恩在马谢特（Machette）关于“客观性、价值判断和理论选择”的演讲（Kuhn 1977）中呈现了这一工作。他通过陈述一个显而易见的道理来开始演讲，即科学家希望构想或采用好的科学理论，因而就不可避免地要评价“好”的意义。他列出好理论的五个特征：

- 准确性：从好理论推出的结果应证明与现存的实验和观察一致。
- 一致性：好理论内部一致，而且与当前公认的理论一致。
- 广泛性：好理论可得到广泛应用，需要超越局部或特定情况。
- 简单性：好理论应当为没有好理论时孤立或混杂的现象带来秩序。
- 丰富性：好理论应揭示新现象，提出新关系。

这些全都是价值，并且它们内在而不是外在于科学。重要的是，库恩煞费苦心地指出它们不是法则：“选择的标准……不是作为法则来决定选择，

而是作为价值来影响选择”（Kuhn 1977, p. 331）。正如所有伦理价值的应用，这些价值存在发展的空间，人们甚至专家都可能在权衡竞争性价值（简单性与广泛性相争）或两种竞争性理论如何一致的方面意见不同。

1983年，埃尔南·麦克马林（Ernan McMullin）对库恩所说内容的解释和批判大多被收入选集。他将库恩的列表作为认知价值，因为它们涉及对知识、真理或提升认知的追求，从而能理解自然和社会的本质。他把它们与非认知价值进行对比，后者包含默顿认为科学的社会追求所必需的特征——诚实、公开、包容，以及大量而广泛的“政治、社会、道德和宗教”价值，这些价值在解释科学家的理论选择时，能用来修补非决定性理论与证据之间存在的鸿沟（McMullin 1983, p. 19）。

麦克马林“对库恩的价值清单只做了一点修改”，提供了如下的认知价值清单：

- 预测准确性——但只是在某种程度上，所有精确的理论在早期阶段都会遭到证据反驳。
- 内在连贯性——应当没有矛盾或无法解释的巧合。
- 外在一致性——应当期望理论与当前最好的理论和假定的本体论一致。
- 统一的力量——正如在麦克斯韦电磁理论和板块构造理论中所见到的。
- 多产性——持续产生新发现和融入新发现的能力。
- 简单性——这是一个理想特征，同具体化相比更容易表达⁴⁹。

麦克马林同意库恩的观点，这些价值只有作为价值才具有价值的功能，它们不是可以不加判断就能被运用的法则，存在一种价值与另一种价值之间的合理平衡，这种平衡在理性的科学家之间无法达成一致（McMullin 1983, p. 16）。

麦克马林恰到好处地认识到了科学中普遍存在“非标准”认知价值，在这些价值中，最重要的是形而上学和宗教信仰。前面讨论的牛顿的案例，爱因斯坦—玻尔关于量子论解释的争论，进化生物学中的“间断平衡”争论，以及许多其他类似的争论也表明了“非标准”价值的应用。

彼得·科索（Peter Kosso）用这些术语介绍了他关于“内在价值和外在价值”的讨论：

“理论像苹果，有好有坏……苹果有各种特征表明它是好的……类似地，理论也有相关特征能够表明它是真理，辨别的任

务是识别这些特征，并以它们为指导选择相信哪些理论。”

(Kosso 1992, p. 27)

科索暂时将好理论的内在特征与外在特征分开。他所说的“内在特征”，是指仅考察理论本身而不从外部世界来识别和评价理论。因此，逻辑一致性“是内在特征的明显范例”(Kosso 1992, p. 30)。科索列出有助于成为真理的其他内在价值：

- 切实可靠——一个保守的价值，当该理论与已经公认的其他理论和知识获得一致，公众就会信任它。
- 解释合作——理论能够获得信任，是因为它能够解释为何已有理论本身可以解释现象。
- 可检验性——任何好理论必须有经验性的可检验的结果，虽然这不能保证其真实性，但却是真理论的必要条件。
- 普遍性——以少量基本机制来假定简单的、自然的和社会的世界，理论在时空方面的普遍程度越高，越可能为真；没有简单性的假定，普遍性就只是一个实用或审美的优点。
- 简单性——如果世界是简单的，那么简单理论更可能是真的。这正是“最佳拟合线”及其方程优于连接全部数据点的线的原因，也是运用奥卡姆剃刀(Ockham's razor)的原因。

所有上述这些价值及其他价值(如美学价值)都必须面对理论的表象，通过考察理论及其知识环境就能确定它们的地位。相反，外在价值“涉及理论与世界的关系”(Kosso 1992, p. 31)。对于科索而言，外在价值是解释和确证。

显然，识别、权衡、承认和灌输认识的价值依赖于特定的科学构想。前面由库恩、麦克马林和科索列举的全部价值取决于对科学求真目标的共识。这可能被看做更基本的价值，它“批准”了部分或全部所列的各种认知价值。如果人们致力于其他科学目标(保持传统文化、提高公司利润、促进国家富裕、支持宗教、“知道把点心放到烤箱的何处”等等)，那么相关的价值将会发生变化。当然，在这些额外认识目标中有一些要求是真实的，因此，即使把社会目标作为基本目标，也不能否定认知价值的运行。如果从属于国家的科学不能解释关于世界的真理，那么国家将无法壮大，比如大面积作物歉收(苏联)导致国家无法壮大。关于科

学的实在论和关于科学决策的理性主义有助于人们更容易识别和教授认知价值。这些价值必须基于经验基础而不是心理学基础或意识形态基础，它们的运作必须被看做有助于科学的成功。所以，认为科学承载价值并不意味着它是不普遍或不客观的。

女权主义理论与科学教育

过去的半个世纪，女权主义者发表了许多关于科学的重要评论，由此发展出一个“女权主义和科学”研究计划，该计划的论述在哲学、科学哲学和科学教育中有重大影响（Noddings 2009）。这个女权主义研究计划有三个主要的分支。第一，“实践”分支，关注增加女性进入中小学、大学和工业科学的机会，并关注恢复科学教材和科学史中“遗忘”的女性科学家。此分支接受正统科学，并通过“只有女孩”的科学课、聚焦厨房的实验等来试图增加女性接触正统科学的机会（Rosser 1986, 1993）。

第二，“批判”或“经验论”分支，试图通过认识和矫正那些被男性偏见破坏的科学要素这一机制来提升正统科学。这些女权主义者认为，标准规范的科学前景是对世界普遍客观真理的理性追求，她们的批判集中在识别研究领域、研究问题构架、运用方法和解释结果时，未被承认的性别偏见如何在特定情形下危害规范的理想。鲁斯·哈伯德（Ruth Hubbard）（1979）、卡罗·吉利根（Carol Gilligan）（1982）、唐纳·哈拉维（Donna Haraway）（1989）、南希·图阿纳（Nancy Tuana）（1989a）和凯瑟琳·奥克鲁利克（Kathleen Okruhlik）（1994）在进化论、科尔博格道德发展研究、灵长类动物学、繁殖理论和生物科学中对偏见和性别意识形态的研究，是这个分支中的著名范例。

经验女权主义者相信当前的科学是可矫正的，女权主义的理解能促进其求真目标的实现。这项研究工作与马克思主义的一些研究相关联，并从中得到启发，这些马克思主义研究关注“隐藏的”阶级假定会引起公认的经济和社会科学意识形态的变形（Hartsock 1983）。对马克思主义者来说，他们的政治经济学比其他经济学更好，因为它“掌握”了世界更丰富的信息，对常规“资产阶级”经济学所忽视的因素进行了处理。对经验论女权主义者而言，她们的科学同样是更好的科学，因为它认识

到更多的世界机制，而且有更好的方法去研究它们。

这些经验论女权主义者是科学实在论者，她们具体分析的价值是一个实证问题，是关于“通过了解女权主义者和修正科学，她们能获得多少对主题的理解”。一些特定研究得到了称赞，而另一些则引起了激烈争论。苏珊·卡舍尔（Susan Cachel）在对哈拉维非常受欢迎并被指定为灵长类动物学教科书的批判性评论中写道：对哈拉维来说，

“灵长类动物学不是科学而是叙事或讲故事。作者用文学评论的方式为课文提供观点或进行多重视角的解释。需要注意的是，这本书中‘关注事实的观点’与本书无关——作者自己定义了‘事实’。一个理论和另一个理论同样有效，而且除了个人品位和政治议程，没有东西能够约束这种叙事……一个人如果没有一些背景知识，那么他无法从此书中学到清晰的人类学（灵长类动物学）历史。”

（Cachel 1990, pp. 139, 141）

对卡舍尔来说，对我们理解灵长类或灵长类动物学而言，哈拉维的女权主义确实没有做出任何明显的贡献。正如所有科学主张的那样，其他女权主义的贡献需要具体问题具体分析，而且需要以自然的方式来评价：这项工作扩展了该主题的知识吗？

第三，女权主义中有一个更“哲学”的传统，这一传统直接拒绝了大量对科学及其目标的正统理解。早期对女权主义哲学活动做出贡献的还有鲁斯·布莱尔（Ruth Bleier）（1984）、伊芙琳·福克斯·凯勒（Evelyn Fox Keller）（1985, 1987）、桑德拉·哈丁（Sandra Harding）（1986）、海伦·朗吉诺（Helen Longino）（1989）和简·罗兰·马丁（Jane Roland Martin）（1989）⁵⁰。桑德拉·哈丁和梅里尔·欣蒂卡（Merrill Hintikka）承诺女权主义理论将为科学（在其方法论和研究问题的选择上）带来“完全的”变化。在一部颇有影响力的论文集的导论中，她们写道：

“现在，我们面临一个更基本的课题。我们必须在认识论、形而上学、方法论和科学哲学中，在最不受社会价值渗透影响的抽象推理思想的‘硬核’中清除性别歧视者的歪曲和曲解。”

（Harding & Hintikka 1983, p. ix）

几年后，哈丁写道：这种改进的、“女性化的”科学把以前被认为是培根哲学“假相”的东西带入科学事业的核心，但这并不是问题，因为女权主义科学：

“追求道德理解、政治理解与经验理解的知识的统一，也追求内心知识与通过手脑获取的知识的统一。它认为探究不仅包含对自然和其他事物的机械观察，也包含某些政治阐述和道德阐述的介入，‘没有这些政治阐述和道德阐述就不能揭示自然的秘密’。”

(Harding, S.G. 1986, p. 241)

正是这种定位使得哈丁直接采用了受马克思主义影响的“立场认识论”(Harding 1991, Chapter 5)。在这种科学论中，不能排除偏见，没有“无出处的观点”，知识仅能由观点的多样性来发展。女权主义观点或立场具有特殊的认识论优势。哈丁写道：

“在新女权主义研究中，性别分层的社会中女性状况的区别特征被当做是一种资源……是为了产生比传统研究更准确的经验描述和更丰富的理论解释。”

(Harding 1991, p. 119)

南希·布里克豪斯(Nancy Brickhouse)很好地表达了这项活动的内容，她写道：

“女权主义认识论对科学教育已经产生了重要影响。女权主义者，如凯勒、哈拉维和哈丁的工作揭示了科学知识和其他知识一样，是以何种方式处于文化环境之中，从而反映社会的性别和种族意识形态的。和其他知识形态一样，科学知识是依性别分类的。科学不能产生无涉文化、性别中立的知识，因为启蒙运动的科学认识论充满性别的文化意义。女权主义对启蒙运动认识论的这种批判描述了启蒙运动如何导致二元论(诸如男性/女性、文化/自然、客观性/主观性、理性/情感、心灵/身体等)，这些二元论都与男性/女性二元论有关……而且前者(如男性)的价值优于后者(如女性)的价值。对于学者的科学写作，这些二元论具有特殊意义，因为由文化确定的、与男性相关的价值(即客观性、理性、心灵)也是那些与科学

最密切相关的价值 (Keller, 1985)。因此,不仅是男性,在文化上科学也被定义为与女性相对立的。”

(Brickhouse 2001, p. 283)

在这个单独的段落中,布里克豪斯列出了至少12个明确的、有争议的、实际上被广泛否定的历史和哲学主张。在女权主义教育论著中,这些主张是老生常谈;仅仅论述它们就足以说明它们的评价涉及历史和哲学的思考,因为它们全都是有关HPS的。由此得出这样的结论:为了批判性地处理和评价这类主张,科学教师和管理者在一定程度上要熟悉HPS。

另一篇女权主义者的科学教育论文引用了哈丁和凯勒的说法,其中写道:

“从历史观点看,激进的女权主义是重要的,因为它影响了第二代和第三代女权主义的观点。就科学而言,它坚决主张科学的意识形态和哲学建立在以男性为中心的基础之上,这形成了一种男性科学观。在大多数情况下,男性科学观也指以欧洲为中心的科学,即占统治地位的盎格鲁—撒克逊白人男性的观点。”

(Parsons 1999, p. 991)

女权主义和建构主义之间有联系,这可以理解。最初,它们是相互加强的。正如布里克豪斯所证明的:“女权主义者已发现建构主义学习观与女权主义认识论或教学法是一致的”(Brickhouse 2001, p. 284)。正如第八章将要详细说明的,建构主义存在许多哲学问题。从观点多样性到知识多样性,再到科学多样性,再到彻底的科学相对主义仅有认识论短短的几小步。许多人一跃而过这几步,而一些人跃过本体论的界限得到这样的主张——有多少认识者,就有多少世界:

“根据激进的建构主义,我们永远生活在我们自己建构的世界中,离开我们的经验架构,甚至不能描述世界。这种认识与以下观点一致:有多少认识者,就有多少世界……我们的宇宙由大量描述组成,而不是由一个本体论世界本身组成。”

(Roth 1999, p. 7)

以“真正的科学教育”的名义做出这类主张是令人费解的。宇宙之

初,存在大量描述吗?是谁的描述?在基督教学宇宙学中,有这样的话“太初有言”,但这并不意味着“太初有描述”。2011年,在日本东北海啸中,对日本人而言,“描述”波浪摧毁了他们的城镇、家庭和人民毫无用处;更不用说1945年8月,描述一片云吞没了广岛和长崎。为什么科学教育者要用这种方式来讨论,这让人难以理解,他们本能够说一些更明晰、更有意义和更明智的东西。然而,不是所有女权主义者都是建构主义者,许多人对女权主义接受建构主义提出了告诫(Koertge 2000, Pati & Koertge 1994)。

以这类主张为基础来引导教学或课程,却没有深入评价这类主张,这不仅对女性而且对全部学生都会造成巨大伤害。许多女性科学哲学家带头对上述女权主义的所有主张进行批判性评价。不是所有女权主义者都持有女权主义认识论。

科学教育中对女权主义的一些评价

许多女性拒绝客观性、理性和分析思维与她们格格不入的主张。杰出的科学哲学家诺雷泰·柯尔特格(Norette Koertge)也写了有关科学教育的论著(Koertge 1969, 1998),她主张科学需要更多的非正统思想和更多元化的方法。这是标准的波普尔观点,这种观点自身并不构成一种新的科学认识论的论证。对某些女权主义者,柯尔特格提出告诫:

“如果真的能够证明男性统治的思维不仅在科学革命中起了关键作用,而且如我们现在所知,它也是正在从事的科学研究不可或缺的部分,那么,这将为我能想到的男权制提供最强有力的论证。”

(Koertge 1981, p. 354)

接着,她又写道:“我继续相信,科学,即使是白人的、上层的、男性统治的科学也是受压迫者最重要的同盟者之一”(Koertge 1981, p. 354)。

科学哲学家卡桑德拉·皮妮科(Cassandra Pinnick)也写有科学教育论著(Pinnick 2008a),她重复了上述言论。她写道,科学史没有为哈丁女权主义“立场”的认识论特权提供基础:

“相反,科学史明显由有成就的男性统治,这意味着能很好地归纳得到这样的结论:在科学中,男性偏见被最大化,不管这种偏见

是什么，而且它明显排斥其他各种偏见。”

(Pinnick 2008b, p. 187)

对于女权主义立场的特权，可能有其他非认识论的、社会的或政治的理由，但这些理由需要独立论证，并不能与认识论基础混淆。然而，这类论证自身将引起争议，最基本的问题就是把哪一种女性立场作为女权主义的立场。阶级、种族、宗教、国籍全都“覆盖”在任何特定女性立场甚至利益之上。关于立场的认识论的哲学论证也是有争议的，正如皮妮科下面所总结的：

“但是，有关科学性别立场的思想已完全破裂，它充满形式矛盾，完全缺乏经验成就，哪怕提供微弱的归纳支持。尽管与其相关的论证失败了，但除去这些无根据的允诺外，依赖其他事实可以说明，女性将对科学产生重要的积极影响，女权主义立场理论长期的、鲜明的高姿态会造成风险，这种风险表现在努力提高女性在科学（在教育 and 职业）中的地位充满困难，导致稀有资源分配不当。”

(Pinnick 2008a, p. 1062)

结论

本章讨论了科学和哲学密切联系的某些方面，并表明这种相互联系适用于科学课堂和教师教育中的学生。这是了解科学本质的一部分，是科学课程的一个主题。它不仅是关于学习哲学的问题（尽管这是重要的），而且也为研究哲学提供了机会。哲学开始于“……是什么意思？”以及“你如何知道的？”等问题。在教育的每个阶段，无论什么学科，都应鼓励学生提出这些问题。这些问题自然导向逻辑的领域和对论证的评价。大量证据证明需要训练和丰富学生在这些领域中的原始思维，逻辑思维不是天生的。罗伯特·恩尼斯在1979年列出的哲学问题，如关于解释、学科结构、价值、理论和观察、科学方法等引发了科学教师长期的兴趣，也引起了学生的兴趣。本章已表明，当代课程的许多领域包含丰富的哲学维度，很容易吸引学生。这些哲学维度包括伦理和价值、逻辑和批判思维、科学和形而上学以及思想实验。本章还介绍了一些教师和课程编

写者经常展开的争论，特别是社会学批判和女权主义对科学的批判所引起的争论。在这里，哲学起到了明显的作用，教师需要对此有所了解和准备。

除了这些主题，还存在科学教育者活跃的其他理论争论领域，科学哲学对这些领域也有所贡献。关于建构主义（特别是其认识论主张）的论证是一个突出的领域，我们将在第八章中进行论述。哲学能有所贡献的其他领域是关于科学和世界观的论证、关于宗教信仰和科学信仰的论证以及关于多元文化科学教育的适当思考，这些将在第十章中进行探讨。全部这些合在一起支持了本书的核心论题：科学教育和HPS需要发展为更密切的关系。

注释

1. 关于科学的哲学维度一些有用的研究，请参考：Amsterdamski (1975)、Buchdahl (1969)、Burt (1932)、Cushing (1998)、Dilworth (1996/2006)、Gjertsen (1989)、Mayr (1988)、Shimony (1993)、Smart (1968)、Trusted (1991) 和 Wartofsky (1968)。
2. 保罗·亚瑟·席尔普 (Paul Arthur Schilpp) 的选集题为《阿尔伯特·爱因斯坦：哲学家—科学家》(Schilpp 1951)，是评论爱因斯坦的名著。
3. 例如，请参见：Bohm (1980)、Bohr (1958)、Boltzmann (1905/1974)、Born (1968)、Duhem (1906/1954)、Eddington (1939)、Heisenberg (1962)、Jeans (1943/1981)、Mach (1883/1960)、Planck (1936) 和 von Helmholtz (1995)。
4. 例如，请参见：Bridgman (1950)、Bunge (1973, 1998a, 1998b)、Campbell (1921/1952)、Chandrasekhar (1987)、Cushing (1998)、d'Espagnat (2006)、Holton (1973)、Margenau (1950, 1978)、Rabi (1967)、Rohrlich (1987)、Weinberg (2001) 和 Shimony (1993)。
5. 例如：Bernal (1939)、Birch (1990)、Haldane (1928)、Hull (1988)、Mayr (1982)、Monod (1971)、Polanyi (1958) 和 Wilson (1998)。这方面的最新著作是 Francis Collins (2007) 写的文章，他是遗传学家，人类基因组计划的领导者。
6. 例如，请参见苏珊·斯特宾 (Susan Stebbing) 对英国著名物理学家詹姆斯·琼斯 (James Jeans) 和亚瑟·埃丁顿 (Arthur Eddington) 的唯心论哲学结论的经典批判 (Stebbing 1937/1958)。另外，请参见马里奥·邦格 (Mario Bunge) 对玻姆、玻尔和哥本哈根学派的许多支持者从量子力学中推出唯心论和主观论的批判 (Bunge 1967, 2012)。这些批判强调：这些科学家虽然研究哲学，但本来是科学家，而不是专业哲学家。
7. 论述现代物理学世界观的著作非常多。例如，请参见 Cushing 和 McMullin (1989)，特别是阿布纳·西蒙尼 (Abner Shimony) 的论文《探寻能容纳我们微观物理学知识的世界观》。此外，请参见《科学与教育》特刊“量子论和哲学” (Vol.12, Nos.5-6, 2003) 以及“科学和世界观” (Vol.18, Nos.6-7, 2009)。
8. 更为详尽的讨论，至少请参见：Agassi (1964)、Burt (1932)、Collingwood (1945)、Holton (1988) 和 Wartofsky (1968)。
9. 需要指出的是，认识到科学对文化的依赖性，并不意味着接受不同科学（或理论）的相对

性或不可通约性,但这种推理很常见。这种推理类似于这样的说法:因为文化渗透到韩国学校的数学课中,所以韩国的数学成绩不能与其他国家的成绩相比。

10. 请参见: Lipman (1991)、Lipman 和 Sharp (1978)、Matthews, G.B. (1982) 以及 Sprod (2011, 2014)。
11. 关于牛顿第一定律的证明,请参见 McDermott and Physics Education Group (1995)。关于伽利略斜面实验,请参见 Palmieri (2011)。关于这些实验的课堂使用,请参见 Turner (2012)。
12. 对这一论证的详细讨论和解读,请参见 Buckley (1971)。
13. 关于中世纪的冲力理论,请参见 Clagett (1959) 和 Moody (1975)。
14. Clavelin (1974) 中有经典的讨论。
15. 请参见 Ellis (1965) 和 Hanson (1965), 其中很好地讨论了牛顿关于惯性的系统阐述。关于力,请参见: Ellis (1976)、Hesse (1961)、Hunt 和 Suchting (1969) 以及 Jammer (1957)。
16. 特别参见: Arnold Arons (Arons 1977, Chapters 14–15, 1990, Chapter 3)、Gerald Holton 和 Stephen Brush (Holton & Brush 2001, Chapter 9)、James Trefil (1978) 以及哈佛物理学教材项目 (Holton *et al.* 1974)。
17. 在新近发表的文章中,里卡多·洛佩斯·科埃略 (Ricardo Lopes Coelho) 讨论了该主题的历史文献和教学文献 (Coelho 2007)。加尔文·卡尔曼 (Calvin Kalman) 详尽说明了科埃略的一些论述,并调整了这些论述 (Calvin Kalman 2009)。
18. Matthews (1989) 讨论了马赫的论述,Matthews (1997) 讨论了舍夫勒的论述。
19. 在科学史中,关于思想实验的经典论述有 Koyré (1953/1968, 1960)、Kuhn (1964) 和 Mach (1896/1976)。更新的文献 Bokulich (2001)、Brown (1991)、Brown 和 Fehige (2011)、Gendler (2000, 2004)、Norton (2004)、Schlesinger (1996) 以及 Sorensen (1992) 讨论了思想实验的历史功能和哲学功能。Martin Cohen (2005) 列举和讨论了 26 个思想实验。另见霍洛维茨 (Horowitz) 和马西 (Massey) 编辑的文集《科学和哲学中的思想实验》(1991) 中的文章。
20. 那时“公认的观点”与亚里士多德的观点经常混淆,把二者区分开很重要。公认观点可能是亚里士多德学派的观点,但正如莱恩 (Lane) 指出的,几乎没有文字证据证明此观点出自亚里士多德。伽利略在《新科学》第 68 页提出这样的主张:“100 磅的铁球从 100 布拉乔奥 (译者:古意大利的长度单位,1 布拉乔奥相当于 66 或 68 厘米) 的高处下落,它在 1 磅的铁球下降 1 布拉乔奥的高度之前落到地面”。伽利略认为这种说法源自亚里士多德,但有人在亚里士多德的文献中找到这个主张,莱恩称其“纯粹是伽利略的发明”。在 Brackenridge (1989) 中,有关于这个片段的相关讨论。
21. 关于亚里士多德自然运动的概念思想,请参见 Graham (1996)。
22. 关于爱因斯坦对思想实验的运用,请参见 Brown (1991/2010, pp. 15–20) 和 Norton (1991)。
23. 在《知识与谬误》(Mach 1905/1976) 第 11 章中,马赫阐述了自己对思想实验的看法。有关马赫观点的诠释能在 Hiebert (1974) 中找到。
24. 特别有帮助的论文有: Blown 和 Bryce (2013)、Galili (2009)、Helm 和 Gilbert (1985)、Helm *et al.* (1985)、Özdemir 和 Kösem (2014)、Reiner 和 Burko (2003)、Reiner 和 Gilbert (2000)、Stephens 和 Clement (2012)、Velentzas 和 Halkia (2011, 2013) 以及 Winchester (1990)。Asikainen 和 Hirvonen (2014) 评论了整个思想实验研究的传统。
25. 典型的学校实验课中所学的东西令人沮丧。至少请参见: Carey *et al.* (1989)、Hodson (1993, 1996) 和 Jenkins (1999)。
26. 至少请参见: Hooker (2011)、Parker (2008)、Wimsatt (2007) 和 Winsberg (2010)。
27. 至少请参见: Arriasscq *et al.* (2014)、De Jong *et al.* (2013)、Scalise *et al.* (2011) 以及 Smetana 和 Bell (2012)。
28. 例如,请参见 Siegel (1995)。
29. Erduran 和 Jiménez-Aleixandre (2008) 以及 Khine (2012)。

30. 至少请参见: Böttcher和 Meisert(2011)、Bricker和 Bell(2008)、Jiménez-Aleixandre和 Erduran(2008)、Kuhn(2010)、Nielsen(2012, 2013)以及 Sampson和 Clark(2008)。Adúriz-Bravo(2014)回顾了此研究传统。
31. 关于这些练习,请参见 Scriven(1976, Chapter 3)。1966年,在悉尼大学,斯托韦第一年的逻辑课程的一半由这种练习组成。对于使青少年心智适应哲学内外的论证结构和论证评价而言,这种练习是无价的。
32. 皮埃尔·迪昂的《拯救表象:论从柏拉图到伽利略的物理理论思想》(1908/1969)是论述此传统极好的原始资料。
33. 请参见 Gillies(1998),这篇文章论述了迪昂论题和奎因论题的差异。Harding(1976)的论文集收集了论述迪昂—奎因论题的文章。
34. 早在1970年,库恩就在其《结构》的后记中承认“该著作最初的表述引起了不必要的困难和误解”。后来,他对写作这些“辞藻华丽的段落”感到懊悔(Kuhn 1991/2000),但到那时候,非理性主义之马已闯入无数哲学、社会学和教育的围场。
35. 对理性主义有力的捍卫和探寻科学功能真理的典范文献很多,其中请参见: Brown(1994)、Devitt(1991)、Musgrave(1999)、Newton-Smith(1981)、Nola和 Irzik(2005)、Scheffler(1982)、Shapere(1984)、Shimony(1976)、Siegel(1987)以及 Smith & Siegel(2004)。
36. Mulkey(1982)和 Shapin(1982)是第一批评论社会学的两篇文章,每篇文章都引用了几百篇论文。关于强纲领的批判,请参见: Brown(1984)、Bunge(1991, 1992)、Nola(1991, 2000)和 Slezak(1994a, 1994b)。
37. 一些评论者主张福柯认为他的“权力即知识”的命题仅适用于社会科学和人文学科,而不适用于自然科学(Gutting 1989, p. 4)。
38. Matthews(1980)第6章阐述了智力测验和理论的发展。
39. 请参见: Birstein(2001)、Graham(1973, 1998)、Joravsky(1970)、Lecourt(1977)以及 Lewontin和 Levins(1976)。
40. 请参见: Cross和 Price(1992)、Musschenga和 Gosling(1985)、Ratcliffe和 Grace(2003)以及 Zeidler(2003)、Zeidler和 Sadler(2008)中的论文。
41. 埃格尔、海斯、西蒙尼和其他人(Zygon 23(3), 1988)关于“科学和伦理中的理性”的交流(重印在 Matthews 1991)表明:在这些题材中,采取一点哲学争辩是有益处的。哲学家科德罗(Alberto Cordero)(1992)和马丁(Michael Martin)(1986/1991)关于科学、伦理和教育相互作用的讨论见解深刻、严谨有序。Couló(2014)评论了该研究领域。
42. 这些计划分别是:“人类基因组的图谱和测序:科学、伦理和公共政策”(BSCS 1992)、“基因伦理——鲍尔州立大学模型”(Ball State University, Muncie, IN)以及“教师的生物学教育”(San Francisco State University, San Francisco, CA)。Blake(1994)讨论了这些计划。
43. 杰弗里斯(Diarmuid Jeffreys)2008年出版的书记录了纳粹德国令人压抑的情形,该书的副标题是“染料业利益集团和希特勒战争机器的制造”(Jeffreys 2008)。另见约翰·康韦尔(John Cornwell)2003年出版的书,该书的副标题是“科学、战争和魔鬼协定”(Cornwell 2003)。
44. 波尔斯坦(Vadim Birstein)《知识的颠倒》同样记录了苏联令人沮丧的情形(Birstein 2001)。
45. 这方面的好书多得数不清,请参见:贝尔《不纯洁的科学》(Bell 1992)、格林伯格《科学、金钱和政治》(Greenberg 2001)以及诺布尔《设计美国》(Noble 1979)。
46. 培根不相信需要否定或清除这种影响,只是认为必要时必须指出并纠正它们。对于新科学服务社会的目的并增进社会福祉,他为此感到高兴。Gaukroger(2001, pp. 118-131)和 Urbach(1987, Chapter 4)的文章讨论了培根的文章及其哲学情境,内容丰富。
47. 这章重复了Rudner(1953)大量的论证。
48. 至少请参见: Carrier(2013)、Davson-Galle(2002)、Develaki(2008)、Doppelt(2008)、

Douglas (2009)、Kitcher (2001)、Lacey (2005)、Longino (1990, 2008)、Machamer and Douglas (1999)、Resnik (1998, 2007)、Rooney (1992) 和 Rupy (2006)。另见 Carrier *et al.* (2008) 和 Dupré *et al.* (2007) 的论文。

49. 马里奥·邦格警告：“相对简单的假说可能是最纯朴的，而且相对简单的方法也可能是最不精确严谨的” (Bunge 1963, p. 86)。
50. 其他的早期文章能在如下论文集中见到：J. Harding (1986)、Harding 和 Hintikka (1983)、Keohane *et al.* (1982)、Lowe 和 Hubbard (1983) 以及 Tuana (1989b)。

参考文献

- Aalberts, J., Koster, E. and Boschuizen, R.: 2012, From Prejudice to Reasonable Judgement: Integrating (Moral) Value Discussions in University Courses, *Journal of Moral Education* 41(4), 437-455.
- Adler, M.J.: 1978, *Aristotle for Everybody*, Macmillan, New York.
- Adúriz-Bravo, A.: 2014, 'Revisiting School Scientific Argumentation from the Perspective of the History and Philosophy of Science'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1443-1472.
- Agassi, J.: 1964, 'The Nature of Scientific Problems and Their Roots in Metaphysics'. In M. Bunge (ed.) *The Critical Approach*, Free Press, Glencoe, IL. Reprinted in J. Agassi, *Science in Flux*, Reidel, Boston, MA, 1975, pp. 208-239.
- Amsterdamski, S.: 1975, *Between Experience and Metaphysics: Philosophical Problems in the Evolution of Science*, Reidel Publishing Company, Dordrecht, The Netherlands.
- Arons, A.B.: 1974, 'Education Through Science', *Journal of College Science Teaching* 13, 210-220.
- Arons, A.B.: 1977, *The Various Language, An Inquiry Approach to the Physical Sciences*, Oxford University Press, New York.
- Arons, A.B.: 1990, *A Guide to Introductory Physics Teaching*, John Wiley, New York.
- Arriaseq, I., Greca, I. and Eugenia, S.: 2014, 'Epistemological Issues Concerning Computer Simulations in Science and Their Implications for Science Education', *Science & Education* 23, 897-921.
- Asikainen, M.A. and Hirvonen, P.E.: 2014, 'Thought Experiments in Science and in Science Education'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1235-1256.
- Bacon, F.: 1620/1960, *Novum Organum and Related Writings*, F.H. Anderson (ed.), New York.
- Barnes, B.: 1977, *Interests and the Growth of Knowledge*, Routledge & Kegan Paul, London.
- Bell, B.F. (ed.): 1992, *I Know About LISP But How Do I Put it Into Practice: Draft Report*, Centre for Science and Mathematics Education Research, University of Waikato, Hamilton, New Zealand.
- Bergmann, P.: 1949, *Basic Theories of Physics*, Prentice-Hall, New York.
- Berkeley, G.: 1721/1965, *De Motu*, in D.M. Armstrong (ed.) *Berkeley's Philosophical Writings*, Macmillan, New York, pp. 251-273.
- Bernal, J.D.: 1939, *The Social Function of Science*, Routledge & Kegan Paul, London.
- Birch, L.C.: 1990, *On Purpose*, University of New South Wales Press, Sydney.
- Birstein, V.J.: 2001, *The Perversion of Knowledge: The True Story of Soviet Science*, Westview, Cambridge, MA.
- Blake, D.: 1994, 'Revolution, Revision, or Reversal: Genetics-Ethics Curriculum', *Science & Education* 3(4), 373-391.
- Bleier, R.: 1984, *Science and Gender*, Pergamon Press, New York.
- Bloor, D.: 1976/1991, *Knowledge and Social Imagery*, Routledge & Kegan Paul, London (2nd edition, 1991).
- Blown, E.J. and Bryce, T.G.K.: 2013, 'Thought-Experiments about Gravity in the History of Science and in

- Research into Children's Thinking', *Science & Education* 22(3), 419-481.
- Bohm, D.: 1980, *Wholeness and the Implicate Order*, Ark Paperbacks, London.
- Bohr, N.: 1958, *Atomic Physics and Human Knowledge*, Wiley, New York.
- Bokulich, A.: 2001, 'Rethinking Thought Experiments', *Perspectives on Science* 9(3), 285-207.
- Boltzmann, L.: 1905/1974, *Theoretical Physics and Philosophical Problems*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Booth, E.H. and Nicol, P.M.: 1931/1962, *Physics: Fundamental Laws and Principles with Problems and Worked Examples*, Australasian Medical Publishing Company, Sydney (16th edn 1962).
- Born, M.: 1968, *My Life & My Views*, Scribners, New York.
- Böttcher, F. and Meisert, A.: 2011, 'Argumentation in Science Education: A Model-Based Framework', *Science & Education* 20(2), 103-140.
- Boulos, P.J.: 2006, 'Newton's Path to Universal Gravitation: The Role of the Pendulum', *Science & Education* 15(6), 577-595.
- Brackenridge, J.B.: 1989, 'Education in Science, History of Science and the "Textbook"', *Interchange* 20(2), 71-80.
- Bricker, L.A. and Bell, P.: 2008, 'Conceptualizations of Argumentation From Science Studies and the Learning Sciences and Their Implications for the Practices of Science Education', *Science Education* 92(3), 473-498.
- Brickhouse, N.W.: 2001, 'Embodying Science: A Feminist Perspective on Learning', *Journal of Research in Science Teaching* 38(3), 282-295.
- Bridgman, P.W.: 1950, *Reflections of a Physicist*, Philosophical Library, New York.
- Brown, J.R. (ed.): 1984, *Scientific Rationality: The Sociological Turn*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Brown, J.R.: 1991/2010, *The Laboratory of the Mind: Thought Experiments in the Natural Sciences*, 2nd edn, Routledge, New York.
- Brown, J.R.: 1994, *Smoke and Mirrors: How Science Reflects Reality*, Routledge, New York.
- Brown, R.J. and Fehige, Y.: 2011, 'Thought Experiments'. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, available at: <http://plato.stanford.edu/entries/thought-experiment>
- BSCS (Biological Science Curriculum Committee): 1992, *Mapping and Sequencing the Human Genome: Science, Ethics and Public Policy*, BSCS, Colorado Springs, CO.
- Buchdahl, G.: 1969, *Metaphysics and the Philosophy of Science*, Basil Blackwell, Oxford, UK.
- Buckley, M.J.: 1971, *Motion and Motion's God*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Bunge, M.: 1963, *The Myth of Simplicity*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Bunge, M.: 1967, 'Analogy in Quantum Mechanics: From Insight to Nonsense', *The British Journal for Philosophy of Science* 18, 265-286.
- Bunge, M.: 1973, *The Philosophy of Physics*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Bunge, M.: 1991, 'A Critical Examination of the New Sociology of Science: Part 1', *Philosophy of the Social Sciences* 21(4), 524-560.
- Bunge, M.: 1992, 'A Critical Examination of the New Sociology of Science: Part 2', *Philosophy of the Social Sciences* 22(1), 46-76.
- Bunge, M.: 1998a, *Philosophy of Science*, Vol.1, Transaction Publishers, New Brunswick, NJ.
- Bunge, M.: 1998b, *Philosophy of Science*, Vol.2, Transaction Publishers, New Brunswick, NJ.
- Bunge, M.: 2012, 'Does Quantum Physics Refute Realism, Materialism and Determinism?', *Science & Education* 21(10), 1601-1610.
- Burt, E.A.: 1932, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, 2nd edn, Routledge & Kegan Paul, London (1st edition, 1924).
- Butts, R.E. and Davis, J.W. (eds): 1970, *The Methodological Heritage of Newton*, University of Toronto Press, Toronto.
- Cachel, S.: 1990, 'Partisan primatology. Review of *Primate Visions: Gender, Race, and Nature in the World of*

- Modern Science*, *American Journal of Primatology* 22(2), 139-142.
- Campbell, N.R.: 1921/1952, *What Is Science?* Dover, New York.
- Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E. and Unger, C.: 1989, 'An Experiment Is When You Try It and See If It Works', *International Journal of Science Education* 11, 514-529.
- Carrier, M., Howard, D. and Kourany, J. (eds): 2008, *The Challenge of the Social and the Pressure of Practice. Science and Values Revisited*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, PA.
- Carrier, M.: 2013, 'Values and Objectivity in Science: Value-Ladeness, Pluralism and the Epistemic Attitude', *Science & Education* 22(10), 2547-2568.
- Chandrasekhar, S.: 1987, *Truth and Beauty: Aesthetics and Motivations in Science*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Clagett, M.: 1959, *The Science of Mechanics in the Middle Ages*, University of Wisconsin Press, Madison, WI.
- Clavelin, M.: 1974, *The Natural Philosophy of Galileo. Essay on the Origin and Formation of Classical Mechanics*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Cochaud, G.: 1989, 'The Process Skills of Science', unpublished paper, Australian Science Teachers Association Annual Conference.
- Coelho, R.L.: 2007, 'The Law of Inertia: How Understanding Its History Can Improve Physics Teaching', *Science & Education* 16(9-10), 955-974.
- Cohen, I.B.: 1980, *The Newtonian Revolution*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Cohen, M.: 2005, *Wittgenstein's Beetle and Other Classic Thought Experiments*, Blackwell, London.
- Collingwood, R.G.: 1945, *The Idea of Nature*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Collins, F.S.: 2007, *The Language of God: A Scientist Presents Evidence for Belief*, Free Press, New York.
- Cordero, A.: 1992, 'Science, Objectivity and Moral Values', *Science & Education* 1(1), 49-70.
- Cornwell, J.: 2003, *Hitler's Scientists: Science, War and the Devil's Pact*, Penguin, London.
- Couló, A.C.: 2014, 'Philosophical Dimensions of Social and Ethical Issues in School Science Education: Values in Science and in Science Classrooms'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1087-1117.
- Crombie, A.C.: 1956, *Medieval and Early Modern Science. Vol.11, Science in the Later Middle Ages and Early Modern Times: XII-XVII Centuries*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Cross, R.T. and Price, R.F.: 1992, *Teaching Science for Social Responsibility*, St Louis Press, Sydney.
- Cushing, J.T.: 1998, *Philosophical Concepts in Physics: The Historical Relation between Philosophy and Scientific Theories*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Cushing, J.T. and McMullin, E. (eds): 1989, *Philosophical Consequences of Quantum Theory*, University of Notre Dame Press, Notre Dame, IN.
- d'Espagnat, B.: 2006, *On Physics and Philosophy*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Davson-Galle, P.: 2002, 'Science, Values and Objectivity', *Science & Education* 11(2), 191-202.
- De Jong, T., Linn, M.C. and Zacharia, Z.C.: 2013, 'Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education', *Science* 340(6130), 305-308.
- Develaki, M.: 2008, 'Social and Ethical Dimension of the Natural Sciences, Complex Problems of the Age, Interdisciplinarity, and the Contribution of Education', *Science & Education* 17(8-9), 873-888.
- Devitt, M.: 1991, *Realism and Truth*, 2nd edn, Basil Blackwell, Oxford, UK.
- Dilworth, C.: 1996/2006, *The Metaphysics of Science. An Account of Modern Science in Terms of Principles, Laws and Theories*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands (2nd edn 2006).
- Doppelt, G.: 2008, 'Values in Science'. In S. Psillos and M. Curd (eds) *The Routledge Companion to Philosophy of Science*, Routledge, New York, pp. 302-313.
- Douglas, H.E.: 2009, *Science, Policy, and the Value-Free Ideal*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, PA.
- Duhem, P.: 1906/1954, *The Aim and Structure of Physical Theory* (trans. P.P. Wiener), Princeton University Press,

- Princeton, NJ.
- Duhem, P.: 1908/1969, *To Save the Phenomena: An Essay on the Idea of Physical Theory from Plato to Galileo*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Dupré, J., Kincaid, H. and Wylie, A. (eds): 2007, *Value-Free Science? Ideals and Illusions*. Oxford University Press, New York.
- Eddington, A.: 1928/1978, *The Nature of the Physical World*, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.
- Eddington, A.: 1939, *The Philosophy of Physical Science*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Eger, M.: 1988, 'A Tale of Two Controversies: Dissonance in the Theory and Practice of Rationality', *Zygon* 23(3), 291-326. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Select Readings*, OISE Press, Toronto, 1991.
- Eger, M.: 1989, 'The "Interests" of Science and the Problems of Education', *Synthese* 80(1), 81-106.
- Einstein, A.: 1916/1961, *Relativity: The Special and General Theory*, Crown Publishers, New York.
- Ellis, B.D.: 1965, 'The Origin and Nature of Newton's Laws of Motion'. In R.G. Colodny (ed.) *Beyond the Edge of Certainty*, Englewood Cliffs, NJ, pp. 29-68.
- Ellis, B.D.: 1976, 'The Existence of Forces', *Studies in History and Philosophy of Science* 7(2), 171-185.
- Ennis, R.H.: 1979, 'Research in Philosophy of Science Bearing on Science Education'. In P.D. Asquith and H.E. Kyburg (eds) *Current Research in Philosophy of Science*, PSA, East Lansing, MI, pp. 138-170.
- Epstein, L.C.: 1979, *Thinking Physics*, 2nd edn, Insight Press, San Francisco, CA.
- Erduran, S. and Jiménez-Aleixandre, M.P. (eds): 2008, *Argumentation in Science Education: Perspectives From Classroom-Based Research*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Feyerabend, P.K.: 1975, *Against Method*, New Left Books, London.
- Frank, P. (ed.): 1954, *The Validation of Scientific Theories*, The Beacon Press, Boston, MA.
- Friedman, M.: 2009, 'Newton and Kant on Absolute Space: From Theology to Transcendental Philosophy'. In M. Bitbol, P. Kersberg and J. Petitot (eds) *Constituting Objectivity: Transcendental Perspectives on Modern Physics*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 35-50.
- Galileo, G.: 1638/1954, *Dialogues Concerning Two New Sciences* (trans. H. Crew and A. de Salvio), Dover, New York (originally published 1914).
- Galili, I.: 2009, 'Thought Experiments: Determining Their Meaning', *Science & Education* 18(1), 1-23.
- Garnett, J.P. and Tobin, K.G.: 1984, 'Reasoning Patterns of Preservice Elementary and Middle School Science Teachers', *Science Education* 68, 621-631.
- Gaukroger, S.: 2001, *Francis Bacon and the Transformation of Early-Modern Philosophy*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Geary, D.C.: 1995, 'Reflections of Evolution and Culture in Children's Cognition: Implications for Mathematical Development and Instruction', *American Psychologist* 50(1), 24-37.
- Gendler, T.S.: 2000, *Thought Experiment: On the Powers and Limits of Imaginary Cases*, Garland Press, London.
- Gendler, T.S.: 2004, 'Thought Experiments Rethought - and Reperceived', *Philosophy of Science* 71, 1152-1163.
- Gillies, D.: 1998, 'The Duhem Thesis and the Quine Thesis'. In M. Curd and J. Cover (eds) *Philosophy of Science: The Central Issues*, Norton, New York, pp. 302-319.
- Gilligan, C.: 1982, *In a Different Voice: Psychological Theory and Women's Development*, Harvard University Press, Harvard, MA.
- Gjertsen, D.: 1989, *Science and Philosophy: Past and Present*, Penguin, Harmondsworth, UK.
- Graham, D.W.: 1996, 'The Metaphysics of Motion: Natural Motion in Physics II and Physics VIII'. In W. Wians (ed.) *Aristotle's Philosophical Development: Problems and Prospects*, Rowan & Littlefield, Lanham, MD.
- Graham, L.R.: 1973, *Science and Philosophy in the Soviet Union*, Alfred A. Knopf, New York.
- Graham, L.R.: 1998, *What Have We Learned About Science and Technology from the Russian Experience?*, Stanford University Press, Stanford, CA.

- Greenberg, D.S.: 2001, *Science, Money, and Politics*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Gutting, G.: 1989, *Michel Foucault's Archeology of Scientific Reason*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Haldane, J.S.: 1928, *The Sciences and Philosophy*, Hodder & Stoughton, London.
- Hanson, N.R.: 1965, 'Newton's First Law: A Philosopher's Door into Natural Philosophy'. In R.G. Colodny (ed.) *Beyond the Edge of Certainty*, Prentice Hall, Englewood-Cliffs, NJ, pp. 6-28.
- Haraway, D.: 1989, *Primate Visions: Gender, Race and Nature in the World of Modern Science*, Routledge, New York.
- Harding, J. (ed.): 1986, *Perspectives on Gender and Science*, Falmer Press, East Sussex, UK.
- Harding, S.G.: 1986, *The Science Question in Feminism*, Cornell University Press, Ithaca, NY.
- Harding, S.G.: 1991, *Whose Science? Whose Knowledge? Thinking from Women's Lives*, Cornell University Press, Ithaca, NY.
- Harding, S.G.: 1976, *Can Theories Be Refuted? Essays on the Duhem-Quine Thesis*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Harding, S.G. and Hintikka, M.B. (eds): 1983, *Discovering Reality: Feminist Perspectives on Epistemology, Metaphysics, Methodology, and Philosophy of Science*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Hartsock, N.: 1983, 'The Feminist Standpoint: Developing the Grounds for a Specifically Feminist Historical Materialism'. In S. Harding and M.B. Hintikka (eds) *Discovering Reality*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands, pp. 283-310.
- Heisenberg, W.: 1962, *Physics and Philosophy*, Harper & Row, New York.
- Helm, H. and Gilbert, J.: 1985, 'Thought Experiments and Physics Education - Part 1', *Physics Education* 20, 124-131.
- Helm, H., Gilbert, J. and Watts, D.M.: 1985, 'Thought Experiments and Physics Education - Part 2', *Physics Education* 20, 211-217.
- Helmholtz, H. von: 1995, *Science and Culture: Popular and Philosophical Essays* (edited with Introduction by David Cahan; original essays 1853-1892), Chicago University Press, Chicago, IL.
- Hesse, M.B.: 1961, *Forces and Fields: The Concept of Action at a Distance in the History of Physics*, Thomas Nelson & Sons, London.
- Hiebert, E.N.: 1974, 'Mach's Conception of Thought Experiments in the Natural Sciences'. In Y. Elkana (ed.) *The Interaction Between Science and Philosophy*, Humanities Press, Atlantic Highlands, NJ, pp. 339-348.
- Hodson, D.: 1988, 'Experiments in Science and Science Teaching', *Educational Philosophy and Theory* 20(2), 53-66.
- Hodson, D.: 1993, 'Re-thinking Old Ways: Towards a More Critical Approach to Practical Work in Science', *Studies in Science Education* 22, 85-142.
- Hodson, D.: 1996, 'Laboratory Work as Scientific Method: Three Decades of Confusion and Distortion', *Journal of Curriculum Studies* 28, 115-135.
- Holton, G.: 1973, *Thematic Origins of Scientific Thought*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Holton, G.: 1988, *Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein*, 2nd edn, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Holton, G. and Brush, S.G.: 2001, *Physics, the Human Adventure. From Copernicus to Einstein and Beyond*, Rutgers University Press, New Brunswick, NJ.
- Holton, G., Rutherford, F.J. and Watson, F.G.: 1974, *The Project Physics Course: Motion*, Horwitz Group, Sydney.
- Hooker, C.A.: 2011, *Philosophy of Complex Systems*, Elsevier, Amsterdam.
- Horowitz, G. and Massey, G. (eds): 1991, *Thought Experiments in Science and Philosophy*, Rowman & Littlefield, Lanham, MD.
- Hubbard, R.: 1979, 'Have Only Men Evolved?'. In R. Hubbard, M.S. Henifin and B. Fried (eds) *Women Look at Biology Looking at Women*, Schenkman Press, Cambridge, MA, pp. 7-35.

- Hull, D.L.: 1988, *Science as a Process: An Evolutionary Account of the Social and Conceptual Development of Science*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Hunt, I.E. and Suchting, W.A.: 1969, 'Force and "Natural Motion"', *Philosophy of Science* 36, 233-251.
- Huxley, A.: 1947, *Science, Liberty and Peace*, Chatto & Windus, London.
- Hyland, P., Gomez, O. and Greensides, F. (eds): 2003, *The Enlightenment: A Source Book and Reader*, Routledge, New York.
- Izquierdo-Aymerich, M. and Adúriz-Bravo, A.: 2003, 'Epistemological Foundations of School Science', *Science & Education* 12(1), 27-43.
- Jammer, M.: 1957, *Concepts of Force: A Study in the Foundations of Dynamics*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Jean, J.: 1943/1981, *Physics and Philosophy*, Dover, New York.
- Jeffreys, D.: 2008, *Hell's Cartel: IG Farben and the Making of Hitler's War Machine*, Bloomsbury, London.
- Jenkins, E.W.: 1999, 'Practical Work in School Science: Some Questions to Be Answered'. In J. Leach and A.C. Paulsen (eds) *Practical Work in Science Education: Recent Research Studies*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 19-32.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. and Erduran, S.: 2008, 'Argumentation in Science Education: An Overview'. In S. Erduran and M.P. Jiménez-Aleixandre (eds) *Argumentation in Science Education: Perspectives From Classroom-Based Research*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Joravsky, D.: 1970, *The Lysenko Affair*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Jungwirth, E.: 1987, 'Avoidance of Logical Fallacies: A Neglected Aspect of Science-Education and Science-Teacher Education', *Research in Science & Technological Education* 5(1), 43-58.
- Kalman, C.S.: 2009, 'A Role for Experiment in Using the Law of Inertia to Explain the Nature of Science: A Comment on Lopes Coelho', *Science & Education* 18(1), 25-31.
- Keller, E.F.: 1985, *Reflections on Gender and Science*, Yale University Press, New Haven, CT.
- Keller, E.F.: 1987, 'Feminism and Science'. In S.G. Harding and J.F. O'Barr (eds) *Sex and Scientific Inquiry*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Keohane, N.O., Roasaldo, M.Z. and Gelpi, B.C. (eds): 1982, *Feminist Theory: A Critique of Ideology*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Khine, M.S. (ed.): 2012, *Perspectives on Scientific Argumentation: Theory, Practice and Research*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Kitcher, P.: 2001, *Science, Truth, and Democracy*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Koertge, N.: 1969, 'Towards an Integration of Content and Method in the Science Curriculum', *Curriculum Theory Network* 4, 26-43. Reprinted in *Science & Education* 1996, 5(4), 391-402.
- Koertge, N.: 1981, 'Methodology, Ideology and Feminist Critiques of Science'. In P.D. Asquith and R.N. Giere (eds), *Proceedings of the Philosophy of Science Association 1980*, Edwards Bros, Ann Arbor, MI, pp. 346-359.
- Koertge, N.: 1998, 'Postmodernisms and the Problem of Scientific Literacy'. In her *A House Built on Sand: What's Wrong with the Cultural Studies Account of Science*, Oxford University Press, New York, pp. 257-271.
- Koertge, N.: 2000, '"New Age" Philosophies of Science, Constructivism, Feminism and Postmodernism', *British Journal for the Philosophy of Science* 51, 667-683.
- Kosso, P.: 1992, *Reading the Book of Nature: An Introduction to the Philosophy of Science*, Cambridge University Press, New York.
- Koyré, A.: 1953/1968, 'An Experiment in Measurement', *Proceedings of the American Philosophical Society* 7, 222-237. Reproduced in his *Metaphysics and Measurement*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1968, pp. 89-117.
- Koyré, A.: 1954, 'Influence of Philosophic Trends on the Formulation of Scientific Theories'. In P.G. Frank (ed.) *The Validation of Scientific Theories*, The Beacon Press, Boston, MA, pp. 192-203.

- Koyré, A.: 1957, *From the Closed World to the Infinite Universe*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- Koyré, A.: 1960, 'Galileo's Treatise "De Motu Graviorum": The Use and Abuse of Imaginary Experiment', *Revue d'Histoire des Sciences* 13, 197-245. Reprinted in his *Metaphysics and Measurement*, 1968, Harvard University Press, Cambridge, MA, pp. 44-88.
- Koyré, A.: 1968, *Metaphysics and Measurement*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Kuhn, D.: 2010, 'Teaching and Learning Science as Argument', *Science Education* 94(5), 810-824.
- Kuhn, T.S.: 1962/1970, *The Structure of Scientific Revolutions*, 2nd edn, Chicago University Press, Chicago, IL (1st edition, 1962).
- Kuhn, T.S.: 1964, 'A Function for Thought Experiments' in his *The Essential Tension*, University of Chicago Press, Chicago, IL, 1977, pp. 28-43.
- Kuhn, T.S.: 1977, 'Objectivity, Value Judgement, and Theory Choice'. In his *The Essential Tension*, University of Chicago Press, Chicago, IL, pp. 320-339.
- Kuhn, T.S.: 1991/2000, 'The Trouble with Historical Philosophy of Science', The Robert and Maurine Rothschild Lecture, Department of History of Science, Harvard University. In J. Conant and J. Haugeland (eds) *The Road Since Structure: Thomas S. Kuhn*, University of Chicago Press, Chicago, IL, pp. 105-120.
- Lacey, H.: 2005, *Values and Objectivity in Science*, Lexington Books, Lanham, MD.
- Latour, B. and Woolgar, S.: 1979/1986, *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*, 2nd edn, SAGE, London.
- Lecourt, D.: 1977, *Proletarian Science? The Case of Lysenko*, Manchester University Press, Manchester, UK.
- Lederman, N.G.: 2004, 'Syntax of Nature of Science within Inquiry and Science Instruction'. In L.B. Flick and N.G. Lederman (eds) *Scientific Inquiry and Nature of Science*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 301-317.
- Lederman, N.G., Abd-el-Khalick, F., Bell, R.L. and Schwartz, R.S.: 2002, 'Views of Nature of Science Questionnaire: Towards Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of the Nature of Science', *Journal of Research in Science Teaching* 39, 497-521.
- Levi, I.: 1960, 'Must the Scientist Make Value Judgments?', *The Journal of Philosophy* LVII, 345-357.
- Lewontin, R. and Levins, R.: 1976, 'The Problem of Lysenkoism'. In H. Rose and S. Rose (eds) *The Radicalisation of Science*, Macmillan, London, pp. 32-64.
- Lipman, M.: 1991, *Thinking in Education*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Lipman, M. and Sharp, A.M. (eds): 1978, *Growing Up with Philosophy*, Temple University Press, Philadelphia, PA.
- Longino, H.E.: 1989, 'Can There Be a Feminist Science?'. In N. Tuana (ed.) *Feminism & Science*, Indiana University Press, Bloomington, IN pp. 45-57.
- Longino, H.E.: 1990, *Science as Social Knowledge: Values and Objectivity in Scientific Inquiry*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Longino, H.E.: 2008, 'Values, Heuristics, and the Politics of Knowledge'. In M. Carrier, D. Howard and J. Kourany (eds) *The Challenge of the Social and the Pressure of Practice. Science and Values Revisited*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, PA, pp. 68-86.
- Lowe, M. and Hubbard, R. (eds): 1983, *Women's Nature: Rationalizations of Inequality*, Pergamon Press, New York.
- Mach, E.: 1883/1960, *The Science of Mechanics*, Open Court Publishing, LaSalle, IL.
- Mach, E.: 1886/1986, 'On Instruction in the Classics and the Sciences'. In his *Popular Scientific Lectures*, Open Court Publishing, LaSalle, IL, pp. 338-374.
- Mach, E.: 1893/1974, *The Science of Mechanics*, 6th edn, Open Court Publishing, LaSalle, IL.
- Mach, E.: 1896/1976, 'On Thought Experiments'. In his *Knowledge and Error*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands, pp. 134-147.
- Mach, E.: 1905/1976, *Knowledge and Error*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Machamer, P. and Douglas, H.: 1999, 'Cognitive and Social Values', *Science & Education* 8(1), 45-54.

- McDermott, L.C. and Physics Education Group: 1995, *Physics by Inquiry*, 3 volumes, John Wiley, New York.
- McMullin, E.: 1983, 'Values in Science'. In P.D. Asquith and T. Nickles (eds) *PSA 1982*, Vol. 2, PSA, East Lansing, MI, pp. 3-28.
- Mannheim, K.: 1936/1960, *Ideology and Utopia*, Routledge & Kegan Paul, London.
- Margenau, H.: 1950, *The Nature of Physical Reality: A Philosophy of Modern Physics*, McGraw-Hill, New York.
- Margenau, H.: 1978, *Physics and Philosophy: Selected Essays*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Martin, J.R.: 1989, 'Ideological Critiques and the Philosophy of Science', *Philosophy of Science* 56, 1-22. Martin, M.: 1986/1991, 'Science Education and Moral Education', *Journal of Moral Education* 15(2), 99-108. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto, 1991, pp. 102-114.
- Marx, K.: 1852/1969, *The Eighteenth Brumaire of Louis Bonaparte*. In *Karl Marx and Frederick Engels: Selected Works*, Vol.1, Progress, Moscow, pp. 398-487.
- Matthews, G.B.: 1982, *Philosophy and the Young Child*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Matthews, M.R.: 1980, *The Marxist Theory of Schooling: A Study in Epistemology and Education*, Harvester Press, Brighton, UK.
- Matthews, M.R.: 1989, 'Ernst Mach and Thought Experiments in Science Education', *Research in Science Education* 18, 251-258.
- Matthews, M.R. (ed.): 1991, *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto.
- Matthews, M.R.: 1997, 'Israel Scheffler on the Role of History and Philosophy of Science in Science Teacher Education', *Studies in Philosophy and Education* 16(1-2), 159-173.
- Matthews, M.R.: 2000, *Time for Science Education: How Teaching the History and Philosophy of Pendulum Motion Can Contribute to Science Literacy*, Kluwer Academic Publishers, New York.
- Mayr, E.: 1982, *The Growth of Biological Thought*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Mayr, E.: 1988, *Toward a New Philosophy of Biology: Observations of an Evolutionist*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Meli, D.B.: 2006, *Thinking with Objects: The Transformation of Mechanics in the Seventeenth Century*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- Merton, R.K.: 1942/1973, 'The Normative Structure of Science'. In his *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations* (N.W. Storer, ed.), University of Chicago Press, Chicago, IL, 1973, pp. 267-280.
- Merton, R.K.: 1957, 'The Sociology of Knowledge'. In his *Social Theory and Social Structure*, Free Press, New York.
- Monod, J.: 1971, *Chance and Necessity: An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology*, Knopf, New York.
- Moody, E.A.: 1975, *Studies in Medieval Philosophy, Science and Logic*, University of California Press, Berkeley, CA.
- Moore Jr, B.: 1954, 'Influence of Political Creeds on the Acceptance of Theories'. In P.G. Frank (ed.) *The Validation of Scientific Theories*, The Beacon Press, Boston, MA, pp. 29-36.
- Mulkay, M.: 1982, 'Sociology of Science in the West', *Current Sociology* 28(3), 1-116.
- Musgrave, A.: 1999, *Essays on Realism and Rationalism*, Rodopi, Amsterdam.
- Musschenga, B. and Gosling, D. (eds): 1985, *Science Education and Ethical Values*, Georgetown University Press, Washington, DC.
- Nersessian, N.J.: 1993, 'In the Theoretician's Laboratory: Thought Experimenting as Mental Modelling', *Philosophy of Science Association Proceedings* (2), 291-301.
- Newton, I.: 1729/1934, *Mathematical Principles of Mathematical Philosophy* (trans. A. Motte, revised F. Cajori), University of California Press, Berkeley, CA.
- Newton, I.: 1730/1979, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*, Dover, New York.

- Newton-Smith, W.H.: 1981, *The Rationality of Science*, Routledge & Kegan-Paul, Boston, MA.
- Nielsen, J.A.: 2013, 'Dialectical Features of Students' Argumentation: A Critical Review of Argumentation Studies in Science Education', *Research in Science Education* 43(1), 371-393.
- Nielsen, K.H.: 2012, 'Scientific Communication and the Nature of Science', *Science & Education* 22(9), 2067-2086.
- NIH (National Institute of Health): 2009, *Bioethics Yrs 9-12 Course*, NIH, Washington, DC.
- Noble, D.E.: 1979, *America by Design: Science, Technology, and the Rise of Corporate Capitalism*, Alfred A. Knopf, New York.
- Noddings, N.: 2009, 'Feminist Philosophy and Education'. In H. Siegel (ed.) *The Oxford Handbook of Philosophy of Education*, Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 508-523.
- Nola, R.: 1991, 'Ordinary Human Inference as Refutation of the Strong Programme', *Social Studies of Science* 21, 107-129.
- Nola, R.: 2000, 'Saving Kuhn from the Sociologists of Science', *Science & Education* 9(1-2), 77-90.
- Nola, R. and Irzik, G.: 2005, *Philosophy, Science, Education and Culture*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Norton, J.D.: 1991, 'Thought Experiments in Einstein's Work'. In T. Horowitz and G. Massey (eds) *Thought Experiments in Science and Philosophy*, Rowman & Littlefield, Lanham, MD, pp. 129-148.
- Norton, J.D.: 2004, 'On Thought Experiments: Is There More to the Argument?', *Philosophy of Science* 71, 1139-1151.
- Okruhlik, K.: 1994, 'Gender and the Biological Sciences', *Canadian Journal of Philosophy* 20, 21-42.
- Özdemir, Ö.F. and Kösem, S.D.: 2014, 'The Nature and Role of Thought Experiments in Solving Conceptual Physics Problems', *Science & Education* 23(4), 865-895.
- Palmieri, P.: 2011, *A History of Galileo's Inclined Plane Experiment and Its Philosophical Implications*, The Edwin Mellen Press, Lewiston, NY.
- Parker, W.S.: 2008, 'Does Matter Really Matter? Computer Simulations, Experiments, and Materiality', *Synthese* 169(3), 483-496.
- Parsons, S.: 1999, 'Feminisms and Science Education: One Science Educator's Exploration of Her Practice', *International Journal of Science Education* 21(9), 989-1005.
- Pati, D. and Koertge, N.: 1994, *Professing Feminism: Cautionary Tales from the Strange World of Women's Studies*, Basic Books, New York.
- Petersen, A.: 1985, 'The Philosophy of Niels Bohr'. In A.P. French and P.J. Kennedy (eds) *Niels Bohr: A Centenary Volume*, Harvard University Press, Cambridge, MA, pp. 299-310.
- Pinnick, C.L.: 2008a, 'Science Education for Women: Situated Cognition, Feminist Standpoint Theory, and the Status of Women in Science', *Science & Education* 17(10), 1055-1063.
- Pinnick, C.L.: 2008b, 'The Feminist Approach to Philosophy of Science'. In S. Psillos and M. Curd (eds) *The Routledge Companion to Philosophy of Science*, Routledge, London, pp. 182-192.
- Planck, M.: 1936, *The Philosophy of Physics*, W.W. Norton, New York.
- Poincaré, H.: 1905/1952, *Science and Hypothesis*, Dover, New York.
- Polanyi, M.: 1958, *Personal Knowledge*, Routledge & Kegan Paul, London.
- Popper, K.R.: 1934/1959, *The Logic of Scientific Discovery*, Hutchinson, London.
- Porter, R.: 2000, *The Enlightenment: Britain and the Creation of the Modern World*, Penguin, London.
- Quine, W.V.O.: 1951/1953, 'Two Dogmas of Empiricism', *Philosophical Review*. Reprinted in his *From a Logical Point of View*, Harper & Row, New York, 1953, pp. 20-46.
- Quine, W.V.O.: 1953, *From a Logical Point of View*, Harper & Row, New York.
- Rabi, I.I.: 1967, *Science the Centre of Culture*, World Publishing, New York.
- Ratcliffe, M. and Grace, M.: 2003, *Science Education for Citizenship. Teaching Socioscientific Issues*, Open University Press, Maidenhead, UK.
- Reichenbach, H.: 1938, *Experience and Prediction: An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*,

- University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Reiner, M. and Burko, L.M.: 2003, 'On the Limitations of Thought Experiments in Physics and the Consequences for Physics Education', *Science & Education* 12, 365-385.
- Reiner, M. and Gilbert, J.: 2000, 'Epistemological Resources for Thought Experimentation in Science Education', *International Journal of Science Education* 22(5), 489-506.
- Reiss, M.: 2008, 'The Use of Ethical Frameworks by Students Following a New Science Course for 16-18 Year-Olds', *Science & Education* 17(8-9), 889-902.
- Resnik, D.B.: 2007, *The Price of Truth*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Resnik, D.B.: 1998, *The Ethics of Science*, Routledge, New York.
- Rohrlich, F.: 1987, *From Paradox to Reality: Our Basic Concepts of the Physical World*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Rooney, P.: 1992, 'On Values in Science: Is the Epistemic/Non-Epistemic Distinction Useful?'. In D. Hull, M. Forbes and K. Okruhlik (eds) *Proceedings of the 1992 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, PSA, 1, 13-22.
- Rosser, S.V.: 1986, *Teaching Science and Health from a Feminist Perspective*, Pergamon Press, Exeter, UK.
- Rosser, S.V.: 1993, 'Female Friendly Science: Including Women in Curricular Content and Pedagogy in Science', *Journal of General Education* 42, 191-220.
- Roth, M.-W.: 1999, 'Authentic School Science: Intellectual Traditions'. In R. McCormick and C. Paechter (eds) *Learning and Knowledge*, SAGE, London, pp. 6-20.
- Rudner, R.: 1953, 'The Scientist Qua Scientist Makes Value Judgments', *Philosophy of Science* 20(1), 1-6.
- Rudner, R.: 1954, 'Value Judgments in the Acceptance of Theories'. In P.G. Frank (ed.) *The Validation of Scientific Theories*, Beacon Press, Boston, MA, pp. 24-28.
- Ruphy, S.: 2006, "'Empiricism all the Way Down': A Defense of the Value-Neutrality of Science in Response to Helen Longino's Contextual Empiricism', *Perspectives on Science* 14, 189-214.
- Sampson, V.D. and Clark, D.B.: 2008, 'Assessment of the Ways Students Generate Arguments in Science Education: Current Perspectives and Recommendations for Future Directions', *Science Education* 92(3), 447-472.
- Sargent, R.-M.: 2005, 'Virtues and the Scientific Revolution'. In N. Koertge (ed.) *Scientific Values and Civic Virtues*, Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 71-80.
- Scalise, K., Timms, M., Moorjani, A., Clark, L., Holtermann, K. and Irvin, P.S.: 2011, 'Student Learning in Science Simulations: Design Features that Promote Learning Gains', *Journal of Research in Science Teaching* 48, 1050-1078.
- Schecker, H.: 1992, 'The Paradigmatic Change in Mechanics: Implications of Historical Processes on Physics Education', *Science & Education* 1(1), 71-76.
- Scheffler, I.: 1970, 'Philosophy and the Curriculum'. In his *Reason and Teaching*, London, Routledge, 1973, pp. 31-44. Reprinted in *Science & Education* 1(4), 385-394.
- Scheffler, I.: 1982, *Science and Subjectivity*, 2nd edn, Hackett, Indianapolis, IN (1st edition, 1966).
- Scheibe, E.: 2000, 'The Origin of Scientific Realism: Boltzman, Planck, Einstein'. In E. Agazzi and M. Pauri (eds) *The Reality of the Unobservable*, pp. 31-44.
- Schilpp, P.A. (ed.): 1951, *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, 2nd edn, Tudor, New York.
- Schlesinger, G.N.: 1996, 'The Power of Thought Experiments', *Foundations of Physics* 26(4), 467-482.
- Scriven, M.: 1976, *Reasoning*, McGraw-Hill, New York.
- Shackel, N.: 2005, 'The Vacuity of Postmodernist Methodology', *Metaphilosophy* 36(3), 295-320.
- Shapere, D.: 1984, *Reason and the Search for Knowledge*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Shapin, S.: 1982, 'History of Science and Its Sociological Reconstructions', *History of Science* 22, 157-211.
- Shimony, A.: 1976, 'Comments on Two Epistemological Theses of Thomas Kuhn'. In R.S. Cohen, P.K. Feyerabend and M.W. Wartofsky (eds) *Essays in Memory of Imre Lakatos*, Reidel, Dordrecht, The

- Netherlands, pp. 569-588.
- Shimony, A.: 1983, 'Reflections on the Philosophy of Bohr, Heisenberg, and Schrödinger.' In R.S. Cohen and L. Laudan (eds) *Physics, Philosophy and Psychoanalysis*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands, pp. 209-221.
- Shimony, A.: 1989, 'Search for a Worldview Which Can Accommodate Our Knowledge of Microphysics.' In J.T. Cushing and E. McMullin (eds) *Philosophical Consequences of Quantum Physics*, University of Notre Dame Press, Notre Dame, IN, pp. 25-37.
- Shimony, A.: 1993, *Search for a Naturalistic World View, Vol.I Scientific Method and Epistemology*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Siegel, H.: 1987, *Relativism Refuted*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Siegel, H.: 1988, *Educating Reason: Rationality, Critical Thinking, and Education*, Routledge, London.
- Siegel, H.: 1989, 'The Rationality of Science, Critical Thinking, and Science Education', *Synthese* 80(1), 9-42.
Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto and Teachers College Press, New York, 1991.
- Siegel, H.: 1993, 'Naturalized Philosophy of Science and Natural Science Education', *Science & Education* 2(1), 57-68.
- Siegel, H.: 1995, 'Why Should Educators Care About Argumentation', *Informal Logic* 17(2), 159-176.
- Slezak, P.: 1994a, 'Sociology of Science and Science Education: Part I', *Science & Education* 3(3), 265-294.
- Slezak, P.: 1994b, 'Sociology of Science and Science Education. Part II: Laboratory Life Under the Microscope', *Science & Education* 3(4), 329-356.
- Smart, J.J.C.: 1968, *Between Science and Philosophy: An Introduction to the Philosophy of Science*, Random House, New York.
- Smetana, L.K. and Bell, R.L.: 2012, 'Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A Critical Review of the Literature', *International Journal of Science Education* 34(9), 1337-1370.
- Smith, M.U. and Siegel, H.: 2004, 'Knowing, Believing and Understanding: What Goals for Science Education?', *Science & Education* 13, 553-582.
- Sorensen, R.A.: 1992, *Thought Experiments*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Sprod, T.: 2011, *Discussions in Science: Promoting Conceptual Understanding in the Middle School Years*, ACER Press, Melbourne.
- Sprod, T.: 2014, 'Philosophical Inquiry and Critical Thinking in Primary and Secondary Science Education'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1531-1564.
- Stebbing, L.S.: 1937/1958, *Philosophy and the Physicists*, Dover Publications, New York.
- Stephens, A.L. and Clement, J.: 2012, 'Role of Thought Experiments in Science and Science Learning'. In K. Tobin, C. McRobbie and B. Fraser (eds) *Second International Handbook of Science Education*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 157-175.
- Stinner, A.: 1990, 'Philosophy, Thought Experiments and Large Context Problems in the Secondary School Physics Course', *International Journal of Science Education* 12(3), 244-257.
- Trefil, J.S.: 1978, *Physics as a Liberal Art*, Pergamon Press, Oxford, UK.
- Trusted, J.: 1991, *Physics and Metaphysics: Theories of Space and Time*, Routledge, London.
- Tuana, N. (ed.): 1989a, *Feminism & Science*, Indiana University Press, Bloomington, IN.
- Tuana, N.: 1989b, 'The Weaker Seed: The Sexist Bias in Reproductive Theory'. In N. Tuana (ed.) *Feminism & Science*, Indiana University Press, Bloomington, IN pp. 147-171.
- Turner, S.C.: 2012, 'Changing Images of the Inclined Plane: A Case Study of a Revolution in American Science Education', *Science & Education* 21(2), 245-270.
- Urbach, P.: 1987, *Francis Bacon's Philosophy of Science*, Open Court, LaSalle, IL.
- Valentzas, A. and Halkia, K.: 2011, 'The "Heisenberg's Microscope" as an Example of Using Thought Experiments in Teaching Physics Theories to Students of the Upper Secondary School', *Research in Science*

Education 41, 525-539.

- Velentzas, A. and Halkia, K.: 2013, 'From Earth to Heaven: Using the "Newton's Cannon" Thought Experiment for Teaching Satellite Physics', *Science & Education* 23, 2621-2640.
- Wartofsky, M.W.: 1968, *Conceptual Foundations of Scientific Thought: An Introduction to the Philosophy of Science*, Macmillan, New York.
- Weber, M.: 1917/1949, 'The Meaning of "Ethical Neutrality" in Sociology and Economics'. In E.A. Shils and H.A. Finch (trans.) *The Methodology of the Social Sciences*, The Free Press, Glencoe, IL, pp. 1-47.
- Weinberg, S.: 2001, *Facing Up. Science and Its Cultural Adversaries*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Wilson, E.O.: 1998, *Consilience: The Unity of Knowledge*, Little, Brown, London.
- Wimsatt, W.C.: 2007, 'False Models as Means to Truer Theories'. In his *Re-engineering Philosophy for Limited Beings: Piecewise Approximations to Reality*, Chapter 6. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Winchester, I.: 1990, 'Thought Experiments and Conceptual Revision in Science', *Studies in Philosophy and Education* 10(1), 73-80. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto and Teachers College Press, New York, 1991.
- Winsberg, E.: 2010, *Science in the Age of Computer Simulation*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Yolton, J.W., Porter, R., Rogers, P. and Stafford, B.M. (eds): 1991, *The Blackwell Companion to the Enlightenment*, Basil Blackwell, Oxford, UK.
- Zeidler, D.L. (ed.): 2003, *The Role of Moral Reasoning on Socioscientific Issues and Discourse in Science Education*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Zeidler, D.L. and Sadler, T.D. (eds): 2008, 'Social and Ethical Issues in Science Education', Special issue of *Science & Education* 17(8-9).
- Ziman, J.: 1968, *Public Knowledge: The Social Dimension of Science*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

科学课堂中的历史与哲学

——单摆运动¹

本章将通过单摆运动这一主题的教学来说明通识教学法或情境教学法在科学教育中的优势。本章之所以选择单摆运动，一方面是因为它几乎存在于所有科学课程中，另一方面是因为它是一个相对枯燥的话题。对诸如进化论、遗传工程、核能、气候变化或酸雨等“热门”话题，进行历史和哲学方面的思考明显有用。如果HPS能够用于“枯燥”的主题，那么它对科学教学的作用就能得到更好的证明。此外，关于单摆运动的科学能够阐明本书所包含的重要的一般性主题，其中包括：

- 现代科学发展过程中数学、观察和实验的相互作用；
- 科学与文化、社会之间的相互影响；
- 哲学与科学的相互作用；
- 物质对象与科学作用下这些对象之间的区别；
- 在为科学主张辩护或证伪的时候，经验证据所起的不确定性作用；
- 现代科学概念化和常识概念化之间的对比。

单摆与现代科学的基础

在西方社会科学和文化发展中，单摆起了重要作用。对伽利略（Galileo）、惠更斯（Huygens）、牛顿（Newton）、胡克（Hooke）和科学革命中其他主要人物的研究而言，单摆也是极为重要的。单摆的研究和操作带来了许多成果：准确的计时方法，进而解决经度问题；发现守恒和碰撞定律；测定重力加速度 g 的值，表明 g 从赤道到极地的变化，从而确定地球为扁球形。单摆为牛顿综合地面力学和天体力学提供了关键证据，说明基本定律在太阳系中具有普适性；证明地球绕轴自转的动力学证据；惯性质量与引力质量相等；精确测量地球的密度，进而得到地球的质量；等等。亚里士多德学派和伽利略关于经验在判定世界一些矛盾的主张中发挥的作用存在争论，而单摆运动是这一争论的核心。单

摆运动也出现在牛顿与笛卡尔学派形而上学的主要争论中——关于以太存在的争论 (Westfall 1980, p. 376)。多梅尼科·贝尔托洛尼·梅丽 (Domenico Bertoloni Meli) 观察到:

“从伽利略开始, 单摆在对运动和力的研究中就占据了突出地位, 它既可作为测量时间的装置, 也可作为研究运动、力、重力和碰撞的工具。”

(Meli 2006, p. 206)

历史学家伯特兰·霍尔 (Bertrand Hall) 充分证明:

“在物理学史中, 单摆扮演了非常重要的角色。从17世纪初伽利略宣布单摆运动定律的公式到本世纪初它被更精确的装置取代, 单摆在天文学、引力和力学中要么是研究的对象, 要么是研究问题的手段。”

(Hall 1978, p. 441)

单摆不但在科学和哲学中具有重要地位, 它在商业、航海、探险和西方扩张中的重要性更为明显。对于在海上确定经度这个紧迫的商业和军事问题, 这同时也是日常的经济和社会事务问题, 如何便利和精确地计算时间是至关重要的。而单摆解决了这些问题。遗憾的是, 单摆在近代科学发展中的这种中心地位和重要性却没有在教材和学校课程中体现出来, 它作为“极枯燥的”话题出现, 即使在最好的课堂中大多也是用好记的公式 ($T=2\pi\sqrt{l/g}$)、一些常规的数学练习和实践课来打发。

单摆在教科书中的谣传及历史背景

标准教科书对于单摆运动的特征是用伽利略发现单摆运动的等时性这一故事来讲述的。对该故事的一种描述如下:

“他 (伽利略) 成长于比萨 (Pisa), 17岁时在当地教堂无意观察到枝形吊灯像摆一样摆动。他注意到每当微风穿过教堂半开的门, 吊灯就在微风中摆动。他对教堂讲道感到无聊, 于是开始仔细观察吊灯, 然后把指尖放在手腕上感受脉搏, 结果发现了令人惊奇的事情……吊灯有时摆动幅度很大, 有时几乎没有摆动…… (然而) 脉

搏每跳动60次，吊灯总会摆动相同的次数。”

(Wolf 1981, p. 33)

在世界上使用最广泛的中学物理教材《PSSC物理学》的开头几页，也有与之相同的故事（PSSC 1960）²。

如果我们相信教科书的描述，那么有个基本问题：这种所谓的单摆等时性为什么直到16世纪才被看到？几千年来，无数具有天赋和敏锐观察力的人在推孩子荡秋千、观看摆动的灯和重物、使用悬浮摆给乐器调音，为什么都没有看到它们的等时性？几个世纪以来，为了达到科学目的也为了方便日常生活，人们一直试图发现一种可靠的计时工具来测定活动和事件的持续时间，以便在大海上确定经度——这是航海中极为重要的事情。尽管摆的等时性是所有问题的解决方案，人们却普遍忽视了一些明显的事情，这就提示我们：这不仅涉及观察力的问题，还包含了更深层次的问题，即认识论问题，或者说规律是如何被观察的。

在14世纪，尼科尔·奥雷斯姆（Nicole Oresme）（1320—1382）讨论了单摆运动。在《论亚里士多德的天体和世界之书》中，他进行了这样一个想象实验：从地球一侧打一口井，然后把一个物体扔进去，穿过地心，然后从地球另一侧出来（伽利略在1635年《关于两大世界体系的对话》中重复了这个想象实验）。奥雷斯姆把这种假想比作另一种情形：一个重物悬挂在一根长绳上，来回摆动，每次基本都回到初始位置（Clagett 1959, p. 570）。萨克森地区的阿尔伯特（Albert）、塔尔塔利亚（Tartaglia）和贝内代蒂（Benedetti）都在动力理论的情境中讨论了这一问题。最敏锐的观察者莱昂纳多·达·芬奇（Leonardo da Vinci）也在许多场合讨论了单摆运动。在15世纪90年代后期，他画了两个摆：一个在循环泵上，另一个在一个看起来像钟的物体上。他认识到：沿着圆弧的下降比沿着更短的弦下降得更快，这是伽利略后来的弦定律的前身。1569年，雅克·贝松（Jacques Besson）在里昂出版了一本书，详细描述了摆在调节机械锯、风箱、泵和抛光机中的应用³。

众所周知，在《科学革命的结构》中，托马斯·库恩（Thomas Kuhn）使用了伽利略有关单摆的描述来表明从旧科学到新科学认识论的转变。他写道：

“自远古以来，很多人都看到一个又一个的重物在线或链上来回摆

动，直到最终停止。亚里士多德学派相信重物因其本性从高处落至低处直到自然静止；对于该学派来说，摆动物体也是在努力下落……另一方面，伽利略在观看摆动物体时，发现单摆几乎在重复同一运动，反复循环直至永远。此外，伽利略还观察到摆的其他性质，并围绕这些性质建构了新动力学许多重要和独创的部分。”

(Kuhn 1970, p. 118-119)

伽利略如何认识和证明单摆运动定律这个问题与该主题的教学密切相关。教师想要学生认识和证明单摆运动的性质——周期与质量和摆幅无关，而是随摆长的平方根变化。了解最初是如何发现这些性质的能够给当下该主题的教学尝试带来启发；正如科学中其他所有主题一样，它们的历史不仅有内在价值而且有教学价值。

伽利略对单摆运动的解释

在1632年（即伽利略去世前10年）的一封信中，伽利略回顾了自己的物理学成就，并记录了他对单摆的感激之情——通过单摆他能够测量自由下落的时间。他说：“我们将用单摆的奇妙性质测定时间，这种性质就是：无论单摆摆动大小，都会花费相等的时间”（Drake 1978, p. 399）。把单摆运动用于测量时间称得上是一项巨大成就，此外，对伽利略研究自由落体、物体在阻尼介质中运动、动量守恒以及较重物体和较轻物体的下落速度也至关重要。因此，他的单摆运动分析对推翻亚里士多德物理学和发展现代机械运动十分重要。历史学家赫伯特·巴特菲尔德（Herbert Butterfield）对这些发展做出如下评价：

“对我来说，在过去1,500年间，人类思想面临和克服的全部知识障碍中，特征最惊人、影响范围最大的一个便是与运动问题相关的知识障碍。”

(Butterfield 1949/1957, p. 3)

伽利略在其最后的著作《关于两种新科学的对话》（写于对许多人而言标志着“现代”开始的那次审判之后的软禁期间）中写道：

“我们现在探讨其他与单摆有关的问题。对许多人来说，特别是

对那些一直专注于更深奥的自然问题的哲学家来说，单摆似乎是过于枯燥的话题。然而，我没有轻视此问题。亚里士多德这个榜样鼓舞着我，我特别钦佩他，因为他没有放过他认为在某种程度上值得思考的任何主题。”

(Galileo 1638/1954, pp. 94-95)

不幸的是，在后来的400年中，伽利略认为单摆研究似乎“过于枯燥”的评论在科学专业的学生中得到了应验。

伽利略早期对单摆的研究

伽利略的新科学有其工程或实践根源：他用机器工作，所以对机器十分熟悉，并确保这些机器使用了单摆。他第一次接触单摆运动的经历发生在微风吹动教堂的枝形吊灯之前。为伽利略变革旧科学提供基础的，不仅包括观察或研究机器，或进一步阅读关于斜面、螺旋、杠杆、单摆的文献，还包括用机器工作⁴。

年轻的伽利略在比萨大学短期学习医学时，使用单摆制作简单的诊断仪器来测量脉搏，这种仪器就是脉搏摆。在伽利略时代，医生认识到脉搏非常重要，但无法客观地测量脉搏，更不用说准确地测量了。伽利略巧妙而又简单地解决了此问题：他把吊锤悬挂在短线上，再把短线固定在刻度板上，让摆运动，然后从悬挂点开始沿着刻度板移动手指（这样可以有效缩短摆长），直到摆的摆动与病人的脉搏跳动频率一致。因为摆动周期仅取决于摆长，与摆动幅度和吊锤重量无关，所以短线长度就为脉搏提供了客观且可重复的测量标准。这种测量能用于医生和病人之间的交流，并能作为记录保存。

教师可以用脉搏摆来开展一堂有价值的认识论课的教学（学生很容易制作）。最初，像脉搏这样主观的东西被用来测量时间的流逝——把一些事件（特别是在音乐中）说成花费多少脉搏跳动的的时间。通过使用伽利略的脉搏摆，这种主观测量变成了受外部、客观、公共支配的测量（受制于脉搏摆线的长度）。这向客观精确的测量迈进了一小步，17世纪及随后几个世纪的科学发展都依赖于该进步。

1588年，伽利略获得比萨大学数学讲师职位，此后，他很快沉浸在“超人阿基米德”的数学和力学中。伽利略提到阿基米德时永远“充满敬

畏” (Galileo 1590/1960, p. 67)。伽利略在比萨的主要著作是《论运动》(1590/1960)。在这本书中,他论述了自然哲学家讨论的各种问题——自由落体、平衡运动、斜面运动和圆周运动。在这些讨论中,用几何学描绘物理环境,用数学推理确立各种物理学结论。在这里,伽利略开始将物理学彻底数学化,这一点非常具有近代物理的特点⁵。伽利略的天才之处在于他看出了上述所有运动都可以在几何建构中进行解释。也就是说,世界上看起来如此不同的运动都能用共同的数学方式来描绘和解释⁶。

想象一个单摆悬挂在B点,摆动通过点C、F、L、J,这是最理想的构图。据此,伽利略把单摆运动作为圆周运动和悬绳上的运动进行分析。考虑初始极微小的运动,他把摆动看做一系列沿斜面的切向运动。两年之后,他在写给其资助者古达保度·德·蒙特(Guidobaldo del Monte)的一封重要的信中谈论了这些主张。

伽利略使用图6.1来证明单摆运动的性质。重要的是,要注意他对该证明的进一步限定,他说:

“这种证明必须假设暂时不受阻力(由运动物体或斜面的粗糙不平造成,或者由运动物体的形状引起的)。我们必须假定斜面是无形的,或至少它极其平滑并且非常坚硬……运动物体一定要非常平滑……所用的材料也最坚硬。”

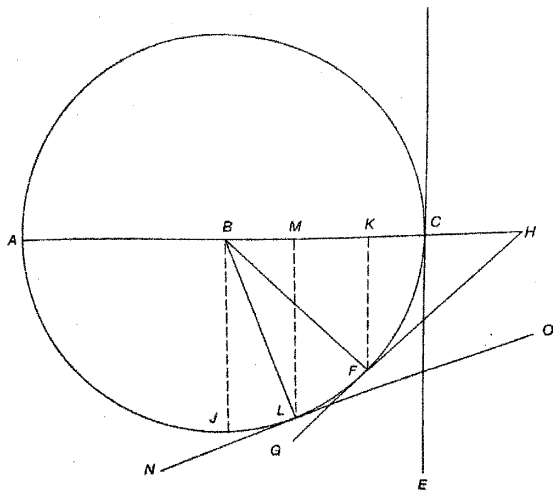


图6.1 伽利略的杠杆、斜面、垂直下落和单摆的复合图
(出处: Galileo 1590/1960, p. 173)

伽利略在此引入关键的理想条件。他的新科学不仅涉及世界如何运动，而且还涉及世界应该如何运动。换言之，他的科学是如果满足某种条件，世界又将如何运动。就单摆而言，所需的条件是摆线没有质量，摆锤没有遇到空气阻力以及支点无摩擦等。在对照实验中，能满足其中的一些条件，而另一些则无法满足，然而这些条件对伽利略的科学来说至关重要⁷。

古达保度·德·蒙特：伽利略的资助者和评论家

伽利略最初的单摆观点的主要反对者之一是他的学术资助者——亚里士多德学派杰出的工程师古达保度·德·蒙特（1545—1607）。德·蒙特是16世纪后期最伟大的数学家和技师之一，是阿基米德著作的译者，他撰写了一部重要的力学著作（Monte 1581/1969）、一部几何学著作《球体投影图的一般理论》（1579）、一部论述透视技巧的著作《透视法》（1600）以及一部关于计时的著作《论日晷》，该书讨论了日晷的理论和构造，但未能出版。德·蒙特是非常出色的机械工程师、威尼斯兵工厂的负责人、有修养的艺术家、低阶贵族和著名的红衣主教的兄弟。他也是伽利略的资助者，帮助伽利略在比萨大学获得第一个大学职位——数学讲师（1588—1592），并帮助伽利略在帕多瓦大学获得第二个学术职位——数学讲师（1592—1610）。

在伽利略及其资助者的交流中，最重要的现存文件是一封信，日期为1602年11月29日。在这封信中伽利略提及了他对单摆等时性的发现，并用数学证明了“单摆定律”⁸。这封信在计时史和力学方面都是一个里程碑，而且这封信表明了他的方法论和科学风格等许多内容，因此有必要重新提及如下：

“如果我坚持劝您相信‘在同一个四分之一圆弧内做运动所用的时间相同’这一命题为真，那么，对于我的强求，请您一定原谅！这个命题对我来说一直都很具有吸引力，但现在更引起我注意的是您已经认定这个命题为假。因此，如果我按您的理论把它作为错误的东西否定掉，那么我认为这将是我自己极大的过失。它不应受这种待遇，同其他人内心对它的抗拒程度相比，你的内心没有完全抗拒这个理论。并且，由于真理向我阐明的经验如此确切，不管我的

其他（信件）对它的说明多么混乱，我将以更明确的方式重复它，以便您也可以通过做此实验确信这个事实。

拿两条等长的细线，每条2或3臂长（4至6英尺），它们分别作为AB和EF。用两个钉子将A和E悬挂起来，在细线的另一端系两个相同的球（就算两球不同也没关系）。从垂直方向移动两条线，使其中一条线以非常大的运动幅度通过弧CB，另一条线则以非常小的运动幅度通过弧IF，然后同时释放它们。一个摆描绘出像BCD那样的大弧，另一个则描绘出像FIG那样的小弧。然而，用这种方法，可移动点（即可移动物体）B通过大弧BCD所耗费的时间并不比另一个可移动点F通过小弧FIG所耗费的时间更长（参见图6.2）。我非常确信这一点。

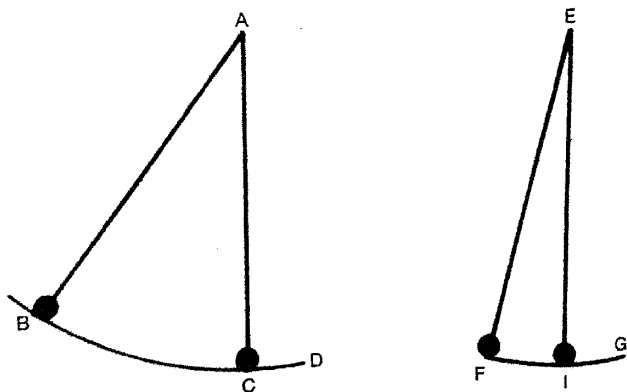


图6.2 大摆幅单摆和小摆幅单摆

（出处：Galileo 1602/1978, p. 69）

可移动球B通过大弧BCD，又通过相同的弧DCB回到原位，然后又回到D，球会重复摆动500或1,000次。同样，另一个可移动球F从F摆动到G，然后又回到F，多次重复摆动。当我为沿着大弧BCD、DCB的摆动计数100次时，另一个观察者为沿着小弧FIG的摆动计数，他计数的摆动次数正好也是100次，一次不差——这有力地表明沿着大弧和沿着小弧每次摆动所耗费的时间相同。这样的话，尽管FIG的长度只是BCD的一半，如果所有通过大弧BCD的摆动所花费时间与通过小弧FIG所花费的时间相等，那么这些通过同样圆周不同弧长所做的下降将在相等时间内完成。即便您不厌其烦地统计多次，也会发现：做小幅度摆动的可移动球F并不比做大幅度摆动的

B球运动频率更快，它们总是步调一致。

您告诉我您在筛子（边缘垂直）的边沿做了一个实验，那个实验可能没什么说服力，也许是由于摆动面并不是完美的圆形，还可能因为在单程摆动过程中，人们无法很好地观察摆动开始的确切时间。但是，如果您用相同的圆弧，并在远处（如在点B）释放B球，那么，B球在摆动开始时通过的距离大，在摆动结束时通过的距离小，然而球并不会因此在结束时比开始时摆动得更频繁（参见图6.3）。

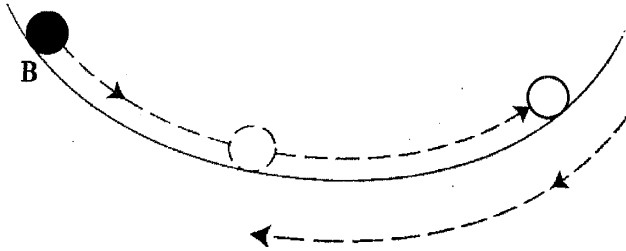


图6.3 球在圆弧中

（出处：Galileo 1602/1978, p. 70）

接着，给定一个长100英里占四分之一圆周的圆弧（这种情形看起来不合理），两个相同的可移动球在相同时间内，一个可能穿越全程100英里，而另一个却只移动了一拃。这听起来很神奇但却是事实，如果我们假设一个平面像缓慢流动的河面那样几乎没有倾斜度，可移动球在另一个陡峭平面上（或在平缓倾斜的平面上给予球很大的动力）运动100英里所用的时间内，在这个几乎没倾斜度的平面上，可移动球的运动距离自然不会超过一拃，要是这样想我们的疑虑就会打消。也许，本质上上面这个命题和下面这个命题相比发生的可能性不大：在同一组平行线之间的等底三角形，其面积总是相等（尽管其中一个三角形周长可能非常短，而另一个的周长却有100英里）。回到我们的主题，我认为我已证明这一个结论与另一个结论一样可信。

设BA为圆BDA的直径，并垂直于水平面，从点A到圆周连接任意线AF、AE、AD和AC。我证明同样的物体，不论是沿垂直线BA，还是在斜面上沿直线CA、DA、EA和FA下落的时间相同。因此，同一时刻离开点B、C、D、E和F，到达终点A的时间就相同，而线FA可以任意缩短。

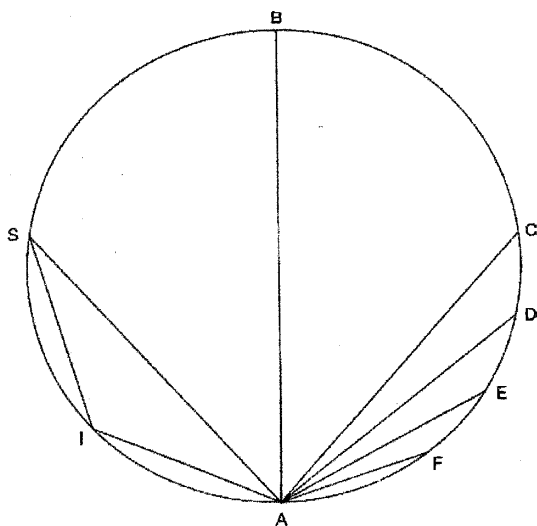


图6.4 弦定律

(出处: Galileo 1602/1978, p. 71)

也许我还证明了更令人惊讶的现象: 线段SA比四分之一圆弧的弦短, 线段SI和IA为任意长度, 相同的移动球从S出发, 通过SIA的球比从I出发仅通过IA的球运动得更快。我已证明了这么多, 但并未超越力学界限。然而, 我无法证明通过弧SIA和IA的时间是相等的, 这也是我正在探寻的问题。

请您代我问候弗朗西斯科 (Francesco) 先生并告诉他, 等我有空时我将写信告诉他关于测量撞击力的实验的构思。至于他的问题, 我认为您的看法很好, 当我们开始处理问题时, 由于偶然性, 开始改变抽象思考的几何命题, 从这些命题中无法得到任何科学结论, 这还真让人纳闷儿——尽管数学家在理论上绝对相信它们。如果这封信让您感到冗长乏味, 请您原谅! 视我为您最忠实的追随者!”

(Drake 1978, p. 71)

因此, 在1602年, 伽利略关于在圆周内弦上的运动提出了两个主张:

1. 在圆周内, 沿所有弦到最低点, 自由下落物体的下降时间相同, 与弦的长度无关。
2. 在同一圆周内, 沿一条弦下降比沿其复合弦下降用时更长, 即使前者的距离比后者短。

这使得他非常接近圆弧运动即单摆案例的主张，但还不完全符合。他确实暗示了单摆的情形并指出：两个6英尺的摆保持同步摆动1,000次，一个摆动范围很大，另一个却只在离开垂直线很小的范围内摆动。伽利略不准备跳过这个过程，他认为：“然而，我不能证明通过弧SIA和IA需要的时间相同，这是我正在探寻的问题。”伽利略“看出”它们在相等的时间内通过。他有经验证据（如果人们把理想情形中的假设行为也算成经验证据的话），但缺乏“证明”。他认为只有数学才能提供“证明”。

这些证据没有给德·蒙特留下深刻印象，他声称相比作为一个物理学家而言，伽利略更是一个优秀的数学家。德·蒙特有足够的理由不相信一个物体通过10或20米圆弧的时间和另一个同样长的弦悬挂的物体通过仅仅1或2厘米的弧的时间相同。此外，作为一个机械师，他做了球在圆弧内滚动的实验，发现伽利略的主张确实是错误的：在较低的四分之一圆弧内，球从不同位置释放后到达最低点的时间并不相同。

这是另一个经验和常识与科学不一致的案例。考虑到单摆在现代科学基础中的中心地位，这个案例在某些方面说明了为什么现代科学在人类历史中出现得如此之晚，以及在它出现时，为什么如此地域化。欧洲科学在短短几十年内就发展成为普遍科学。对随后的科学史和社会史来说，值得高兴的是伽利略没有因德·蒙特或常识的反对而动摇。

伽利略成熟的单摆主张

伽利略的物理学、圆周惯性概念和单摆分析完成于1610年。那时他45岁左右，这种物理学还未得到广泛发表或传播。命中注定的是，1608年伽利略接触到了望远镜，这使他将注意力转移到了天文观察上和长达几十年的捍卫哥白尼宇宙体系的斗争中。之后，伽利略的单摆研究通过他捍卫哥白尼学说的著作进入了公众视野：1633年的《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》和1638年的《论两种新科学及其数学演化》。其关于单摆的著名主张如下：

- 重量无关定律：周期与重量无关。
- 摆幅无关定律：周期与摆幅无关。
- 摆长定律：周期直接随摆长变化，具体来说，就是周期随摆长的平方根变化。

- 等时性定律：对于任何单摆，所有摆动花费的时间相同，即摆动具有等时性。

现在，该主题是常规性的教学内容并在教科书中不断出现，并且在学校的实践课中反复出现，但伽利略提出的这些主张还是有争议的。从关于科学数学化、理想化是否合理的争论中我们能够学习到很多关于科学和科学本质的东西。

关于摆的主张可以概述如下。在1638年《对话》的“星期日”这一章中，伽利略对重量无关定律的表述如下：

“相应地，我拿两个球，一个为铅球，另一个为软木球，前者的重量是后者的100倍以上，用两条等长的细线把它们悬挂起来，每条细线4或5腕尺长。我把每个球从垂直方向拉到一边，同时放开它们，它们将沿着这两条等长细线为半径的圆下落，穿过垂直点，然后沿着相同路径返回。这种自由摆动重复100次，可以明确证明：重球与轻球的周期非常近似，不管是摆动100次还是1,000次，重球都不会比轻球快哪怕一丁点儿，它们非常完美地保持步调一致。”

(Galileo 1638/1954, p. 84)

在1633年《对话》的“星期三”这一章中，伽利略陈述了摆幅无关定律，他写道：

“令人惊奇的是……给定一个圆周，无论摆动通过大弧还是小弧，相同摆的摆动频率居然相同，或者说差别微乎其微，几乎感觉不到。我的意思是：不管我们把摆从垂直位置移开1度、2度或3度，或是更大幅度，移开70度、80度甚至90度，其自由下落的摆动频率都相同。”

(Galileo 1633/1953, p. 450)

在伽利略最后的伟大力学著作《关于两种新科学的对话》(1638)中，他说道：

“我们必须注意到：摆通过180度、160度的圆弧与通过10度、8度的圆弧所用时间相同……如果两个人对两个摆（一个摆幅大，另

一个摆幅小)进行计数,他们会发现:在计数了10次甚至100次之后,1次摆动,甚至1次摆动的一丁点儿差异也没有。”

(Galileo 1638/1954, p. 254)

在1638年《对话》的“星期日”这一章中,伽利略在讨论乐器调音时陈述了摆长定律,他说:

“悬挂于不同线长上的物体的摆动时间,它们之间的比值与线长的平方根的比值相同;或者,人们可以说线长的相互关系与时间平方的相互关系相同。这样,如果任何人想使一个摆的摆动时间是另一个的两倍,那么他必须使其线长为另一线长的4倍。同样,如果一个摆的线长是另一个的9倍,那么前者每摆动1次,后者将摆动3次。由此得出结论:线长与相同时间内摆动次数的平方成反比。”

(Galileo 1638/1954, p. 96)

他的第四个单摆“定律”——等时性运动,对随后单摆的科学和社会应用具有重要意义。15世纪后期,伟大的观察家莱昂纳多·达·芬奇对单摆进行了广泛的调查、操作和绘制,但正如一位评论家所说:“然而,他没有认识到摆的基本性质以及摆动的等时性和周期性规律”(Bedini 1991, p. 5)。

在1633年《对话》的“星期三”这一章中,伽利略着手处理了等时性定律,他说:

“将一个非常平滑光亮的圆弧以圆周ADB的弧度弯成圆弧(参见图6.5),使圆形光滑的球能在其中自由运动(筛子的边缘很适合来做这个实验)。那么现在,不管你把球放在何处,无论是靠近还是远离终点B……放手后它都将在相等的时间内到达B点……这是一个真正引人注目的现象。”

(Galileo 1633/1953, p. 451)

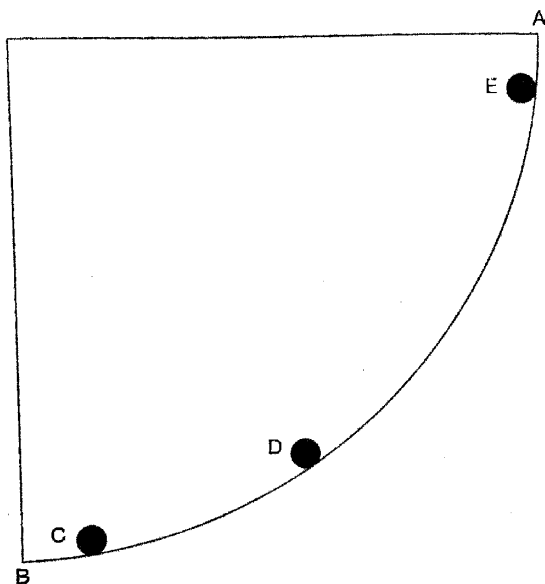


图6.5 球在圆弧中

(出处: Galileo 1633/1953, p. 451)

在1638年《对话》的“星期天”这一章中，伽利略就等时性定律写道：

“但是请观察这种现象：把铅摆拉到一侧，例如成50度圆弧，然后放开它，它摆动时滑过垂直位置约50度，从而画出近100度的圆弧；铅摆返回时，画出的圆弧要小一些，多次摆动之后，铅摆最终停止。每次摆动（无论是90度、50度、20度、10度还是4度）所用时间都相等，与此相应铅球在相等时间间隔内的运动速率不断地减小，其摆动的弧度越来越小……软木摆的情形也完全相同。”

(Galileo 1638/1954, p. 84)

自伽利略时代以来，已对这些数学证据进行过无数次的实证说明或检验。这是学校物理学课程中的常规主题。图6.6中的示意图来自18世纪的物理教材（Guadagni 1764, p. 32），其中照片展现的是陈列在帕维亚（Pavia）大学博物馆的现代复制品（Falomo *et al.* 2014）。图片和照片都源自伽利略对他的弦定理的几何学证明（如图6.4所示）。这是至关重要的科学发展顺序，通过工匠的手艺和技术，我们将科学从想法变成现实。在原始图片中，两个球同时从顶点A释放，一个经过弦AEF，另一

个直接经ADB自由下落，每条路径终点的铃会同时发出响声。如果铃没有同时发出响声，那么可能是以下两种情况：要么是材料出现了“问题”（包括实验者能力不够），导致这些“意外”干扰了“理想”情况；要么是这个定理不适用于现实世界。

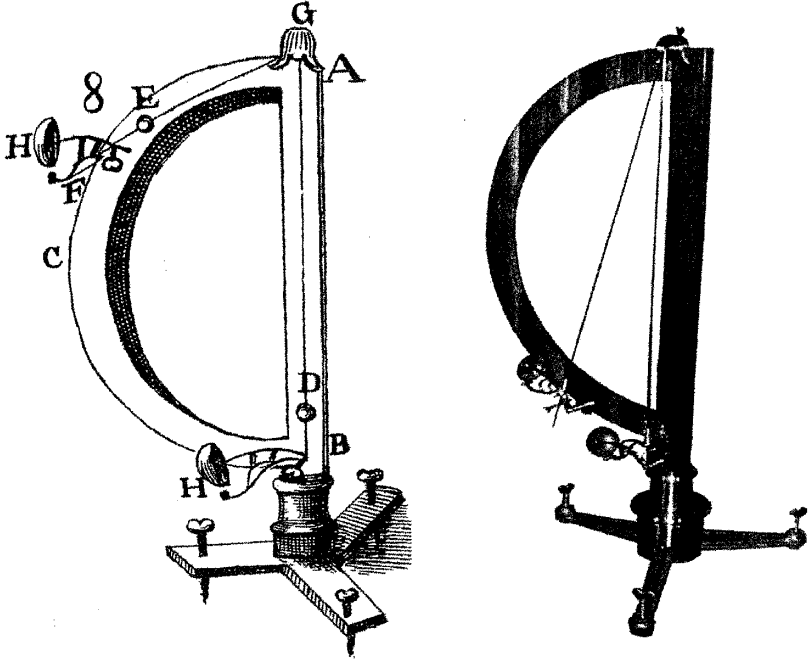


图6.6 弦定律的证明，18世纪的原件和现代复制品

弦定律可以说是单摆运动等时性的一个证明，这个定律证明：如果斜面（弦）内接于圆，而且起点在顶点或终点在最低点，那么沿斜面（弦）下降的时间相等。这意味着幅度不影响时间。而这一特性极易使人联想到弧定律，弧定律表明摆幅不影响下降时间或摆动时间。后来在《对话》的定理22中这个定律得到了证明，而且这一定律还证明了一个违反直觉的命题：自由下落中，下降最快的路径不是最短路径（参见图6.7）。伽利略提到：

“由上述可得知：从一点到另一点下降最快的路径不是最短路径（即直线），而是圆弧。在四分之一圆BAEC中，BC为垂直边。将弧AC分成许多等分AD、DE、EF、FG、GC，从C到A、D、E、F、G画出直线，连接直线AD、DE、EF、FG、GC。显然，沿路径ADC下

降要比沿 AC (或从 D 点静止开始沿 DC) 下降得更快……所以, 沿 5 根弦 ADEFGC 下降将比沿 4 根弦 ADEFC 下降得更快。因此, 其内接多边形越接近于圆, 从 A 到 C 下降所需的时间也就越短。”

(Galileo 1638/1954, p. 239)

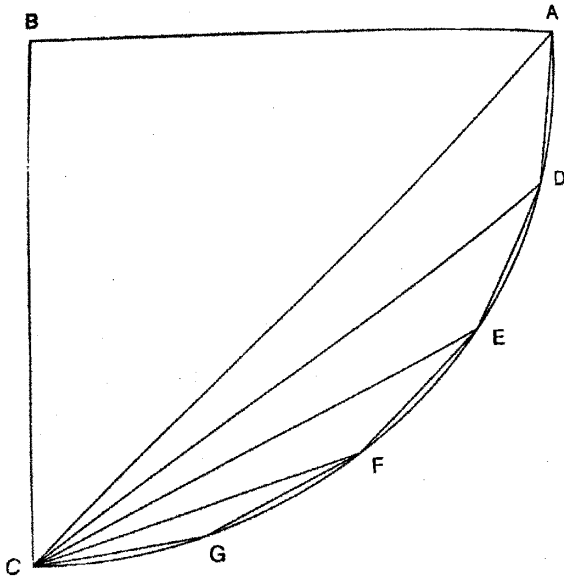


图 6.7 伽利略弦定律的证明

(出处: Galileo 1638/1954, p. 239)

伽利略认识到, 所有真正的等时运动都可以作为时钟来使用: 人们只需根据一个恒星日的时间来标定这种运动, 然后通过制造一些机械装置、发明一些技术来显示稳定的等时运动。他进一步认识到摆动的单摆是这种运动的理想之物。在晚年, 他建议使用摆来制作时钟, 他的儿子文森慈昂 (Vincenzio) 为这一设想绘制了草图⁹。

伽利略的解释存在的问题以及经验主义的限制

伽利略的这些绝妙证明并没有得到广泛认同, 相反, 博学的学者很快指出其中存在相当多的实证问题和哲学问题。出现实证问题表明现实世界与伽利略的数学描绘的世界不一致。伽利略甚至坦言, 现实的确并不总是与他的理论吻合, 物质世界与其所谓的“纸上世界”(理论世界)并不对应。在用数学证明抛出的物体沿抛物线运动这一著名定律之后,

他马上评论道：

“我承认：抽象证明的结论在具体应用时将有差异，而且会错到以下程度，即水平运动不是匀速的，自然加速度也不是所设想的比率，抛出物体的路径也不是抛物线。”

(Galileo 1638/1954, p. 251)

当这种限制性条件出现时，我们能够想象德·蒙特和其他勤奋的亚里士多德学派自然哲学家和机械师会有何反应。这彻底迷惑了亚里士多德学派和经验论者的基本科学目标——准确描述我们生活的世界。抛物线运动定律在理论上是真的，但对于我们的经验世界来说却不是真的，就像现在的学生很难理解这个理论一样，对德·蒙特来说也一样。

早在1636年，著名的数学家、神学家和同时代所有自然哲学家的“搬运工”马兰·梅森 (Marin Mersenne) (1588—1648) 就重复了伽利略的实验，他不仅与德·蒙特的意见一致，而且还怀疑伽利略是否真做过那些实验 (Koyré 1968, pp. 113—117)。现代研究者也重新设置了伽利略所描述的实验条件，并发现他们也无法获得伽利略所主张的结果 (Ariotti 1968, Naylor 1974, 1980, 1989)。

德·蒙特及其他人再三指出单摆不像伽利略认为的那样运动，而伽利略却不厌其烦地解释理想单摆将遵循数学运算规则。德·蒙特反驳说物理学研究现实世界，而不是研究想象中的数学世界。反对物理学数学化不仅是亚里士多德学派，更是大多数经验主义者根深蒂固的信念 (Lennox 1986)。后来，关于牛顿的《原理》的几何建构，英国经验论者胡钦森 (Hutchinson) 说：“它们是‘用圆和线编织的用来捕捉苍蝇的蜘蛛网’¹⁰ (Cantor 1991, p. 219)。”

反对伽利略定律的经验主义理由很容易理解，其中最重要的论据是：如果该定律为真，单摆将是永动机，但显然单摆不是。等时摆第一次摆动的周期等于随后每次摆动的周期，这暗示着永不停息的运动。我们知道，任何单摆一旦开始摆动，很快就会停止，最后一次摆动的周期与第一次摆动的周期绝不相等。此外，显而易见的是：软木摆和铅摆的频率也有轻微差异，即使摆长相等，大摆幅摆动的周期也略长于小摆幅摆动的周期。所有这些都指向伽利略，它们让伽利略想起亚里士多德的基本

方法论主张——在认识世界的过程中，感觉证据优于其他证据。

经典力学的基本定律没有被经验证实，而且直接证实它们基本上是不可能的。在某种程度上，赫伯特·巴特菲尔德（Herbert Butterfield）（1900—1979）探讨了伽利略和牛顿在建构其新科学中存在的问题¹¹：

“他们所讨论的不是我们在真实世界中实际观察到的真实物体，而是在无阻力和无重力的世界中运动的几何物体——它们存在于欧几里得空间的无限虚空中，亚里士多德认为这种虚空是不可想象的。因此，从长远来看，我们必须认识到根本问题的存在：在旧的思想系统框架内，通过密切观察解决问题是不可行的——人们需要进行思想变革。”

（Butterfield 1949/1957, p. 5）

关于科学，客观主义、非经验论的阐述强调：思想变革实际上是创造新的理论对象或系统。甚至对伽利略而言，单摆的运动好像最终也会停止，只有在其理论中，而非感观中，单摆才会持续不断地做平滑的运动¹²。

单摆与计时

对单摆运动科学的一些后期发展进行概述是很有必要的。这些发展表明了科学发展中数学和实验的相互作用，并证明了理论体系的发展以及用于解释和探索自然的概念框架的发展之于科学的重要性。这两点都对单摆运动教学具有重要意义。

在现代世界的形成过程中，单摆发挥的作用甚至超出了科学范畴。单摆对钟表学革命具有重要意义，而钟表学革命是科学革命不可分割的组成部分。1673年，惠更斯接受伽利略关于单摆运动具有划时代意义的分析，把单摆用于钟表装置，从而发明了世界上第一个准确测量时间的方法（Yoder 1988）。在几十年内，机械钟的准确性从每天大约半小时的误差缩小到每天只有几秒钟的误差。计时准确性的突然提高使力学、航海和天文学中的测量精确度达到之前无法想象的高度，迎来了科学革命特有的精确性（Wise 1995）。由此，时间毫无疑问地成为自然研究中的一个独立变量。

克里斯蒂安·惠更斯 (Christiaan Huygens) (1629—1695) 完善了伽利略的单摆定律, 并最早使用这些完善的定律来制作摆钟。惠更斯通过数学方法证明等时运动是摆线上的运动而不是圆周上的运动, 从而完善了伽利略的分析。他对这种发现有如下阐述:

“我们发现了一条线, 它的曲率绝妙, 并且非常吻合单摆的等时性……这条线是固定于连续转动的圆周上的钉子在空画出的路径。现代几何学家称之为摆线, 并仔细研究了它的许多其他性质。对我们来说有意思的是, 这条摆线能够测量时间, 这个发现并非意料之中, 而是跟随几何学脚步的意外成果。”

(Huygens 1673/1986, p. 11)

当圆周C沿固定线AB滚动(无滑动)时, 附于其上的P点所描绘出的曲线就是摆线, 完整弧线ADB的长度等于 $8r$ (r 是母圆的半径)。如果摆线弧竖直放置, 凹面向上, 并让质点沿此弧运动, 那么, 不论从何处释放, 它到达最低点所耗费的时间总是相同。

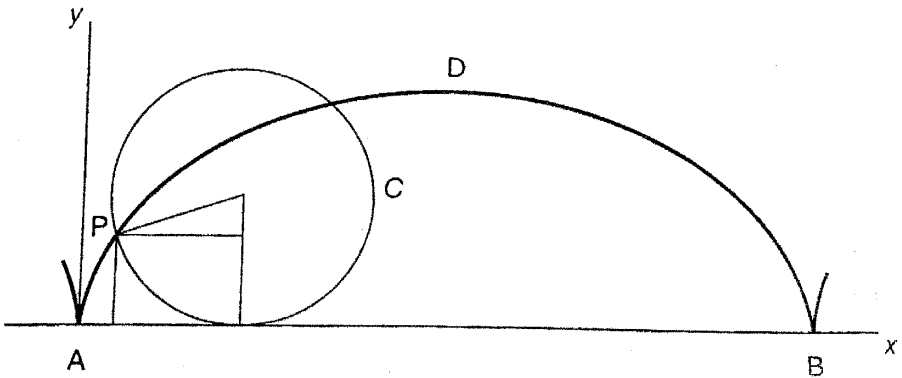


图 6.8 滚动圆产生的摆线

惠更斯用数学方法证明摆线具有等时性后, 接着设计了一种简单方法使悬挂摆沿摆线轨迹摆动——他制作了两个金属摆线夹板, 并使摆在它们之间摆动。惠更斯的第一个摆钟(图 6.9) 准确到每天误差 1 分钟, 他通过与最好的钟表匠合作, 时钟的准确度很快就达到每天误差 1 秒钟。

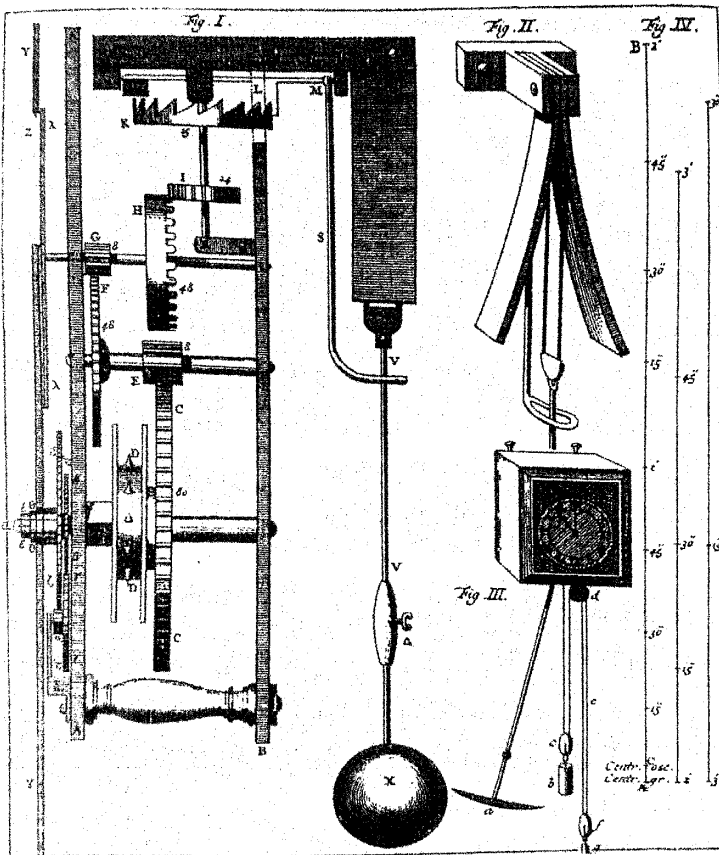


图 6.9 惠更斯摆钟的机械装置

(出处: Huygens 1673/1986, p. 14)

在证明单摆的周期随摆长的平方根变化后，惠更斯（Huygens 1673/1986, pp. 169–170）接着推导出大家熟悉的小摆幅摆（即沿圆弧摆动的摆）的方程：

$$T=2\pi\sqrt{l/g}$$

惠更斯对单摆理论的进一步研究是对科学发展进行客观主义阐述的范例。尽管伽利略才华横溢，但他并没有重视或完全弄懂自己创造的理论对象的含义。理论有不可预见或意料之外的结果，而这需要其他人来发现或解答。通过“跟随几何学的脚步”——在物理事件中不被亚里士多德哲学信任的指导——惠更斯发现摆线（图 6.8）是极重要的等时曲线，而不是圆。等时曲线的发现几乎与感观输入毫无关系，它的证明与感观数据或其他受到实证论者高度赞美的、假定的信仰经验基础更无关系。

惠更斯对国际长度标准的建议

惠更斯看到：在他的单摆方程 $T=2\pi\sqrt{l/g}$ 中， l 是唯一的变量， π 是常数，假定地球是正球体，且单摆位于海平面附近， g 也是常量，质量根本不出现在方程中。因此，不论在法国、英国、俄罗斯、拉丁美洲、中国还是澳大利亚，所有特定摆长的摆都具有相同的周期。知道了 l 和 T ，就能确定任何位置的 g 。惠更斯非常聪明，他发现摆不仅能解决计时和经度问题，还能解决另一个令人头疼的问题——如何确定国际长度标准。1673年，他建议把秒摆（以秒为单位摆动的单摆，其周期是2秒）的摆长作为国际单位¹³。调节摆使其在一个恒星日（即恒星连续两次通过标有刻度的望远镜镜头中心的时间，恒星日略长于太阳日）内摆动 $24 \times 60 \times 30$ 次（每次摆动的时间为2秒），这样就能通过实验确定秒摆的摆长。

这个任务看起来好像很复杂，但并非让人无从下手。惠更斯等人知道摆长 l 随周期的平方（即 T^2 ）变化，所以秒摆摆长是任意摆摆长的 $1/T^2$ 。然而， $(1/T^2) \propto n^2$ （其中 n 是摆在1小时内的摆动次数），正如梅利所评论的：“因此，惠更斯通过计算他自己摆的摆动次数和摆长，就能确定秒摆的摆长”（Meli 2006, p. 205）。

过去科学和日常生活中的测量方式混乱不一，设置国际长度单位（即便是国家单位）有助于精简这些测量方式。同其他国家一样，在法国，城市与城市之间，甚至同一城市内，长度单位的标准也随用途不同（如测量木材和布匹）而发生改变。对于商业、贸易、建筑、军事硬件和技术来说，这就成了大问题，更不必说对科学造成的影响。为了简化并统一混乱的法国测量体系，人们做过许多尝试。据估算，单在法国就有 250,000 种不同的地方性测量标准，包括测量长度、重量和体积的方法（Alder 1995, p. 43）。欧洲各个国家的混乱程度相差不大，当然所有其他国家和文明也同样如此。

在标准公式中，使用 g 和 π 的标准近似值，很容易求得秒摆的摆长是1米：

$$T=2\pi\sqrt{l/g}$$

$$\text{所以：} T^2=4\pi^2(1/g)$$

$$\text{所以：} l=T^2g/4\pi^2$$

把 $T=2s$ (摆动一下用时 1 秒)、 $g=9.8\text{ms}^{-2}$ 、 $\pi^2=9.8$ 代入公式

那么, $l=0.993577\text{m}$, 非常接近 1m 。

即使用最简陋的 1 米摆——一枚坚果吊在一条线上, 也能有效地证明这个结果: 10 次完整摆动用时 20 秒, 20 次摆动用时 40 秒。秒摆作为国际长度标准的一大优点在于它是完全“自然的”标准, 是由自然决定的东西, 这与以国王的臂长或脚长为标准不同。并且国际长度标准可以提供相关体积标准, 而且如果单位体积充满雨水, 那么还将提供质量标准——1 千克是 1 升水 (1,000 cc) 的重量。所有这些过程都能以极具吸引力的方式在课堂中再现, 而且还可以要求学生进行挑战, 思考用长度标准推导质量标准的方法。

惠更斯提出建议的 200 年后, 巴黎举办的国际度量衡大会 (General Conference on Weights and Measures) 把通用标准“米”定义为: “在真空中, 光在 $1/299,792,458$ 秒的时间内所经过的路线长度”, 这并非偶然¹⁴。这个看起来怪异而专断的数字与惠更斯最初的自然长度标准相差不超过 1 毫米, 可以说这个数字的选择精确复制了秒摆摆长。但不幸的是, 学生在科学课本开头几页碰到的恰好是这个怪异的数字而不是来自惠更斯的自然测量, 这加强了他们对“怪异”的科学的恐惧。在这个标准的定义上, 科学是从不好的教学起点开始的。

单摆与地球形状的确立

惠更斯的建议依赖于 g 在地球上 (至少在海平面上) 是常数, 也依赖于地球是球形的, 这看起来是最合理的假定。确实, 说地球形状不规则、不是正球形, 相当于在诬蔑造物主: 想必万能的上帝不会造一个奇形怪状的地球。然而, 与预期相反的是, 1673 年, 人们因为单摆的运动而质疑这个假定。

1669 年, 让·多米尼克·卡西尼 (Jean-Dominique Cassini, 1625—1712) 担任法国皇家科学院院长, 他派遣考察队到世界不同地区测量不同位置的经度, 以便完善地理学, 改进航海技术。1672 年至 1673 年, 让·里歇尔 (Jean Richer) 到卡宴 (Cayenne) 进行了第二次考察 (Olmsted 1942)。卡宴所在的法属圭亚正好位于北纬 5 度左右, 这里被选为天文观测点, 是因为在赤道观测受光穿过地球大气造成的折射影响最小——观

测者、太阳和行星都在同一平面。

里彻 (Richer) 航海考察的主要目的是确定太阳视差值, 用以纠正航海者和天文学家使用的折射表。第二个目的便是检验惠更斯航海摆钟的可靠性, 携带此摆钟也是为了精确确定卡宴的经度。出乎意料的是, 里彻发现, 巴黎的秒摆想要与卡宴的秒摆保持同步就必须缩短摆长。虽然缩短的长度不是太多——2.8 毫米, 一根火柴杆的厚度, 但仍是缩短了。里彻还发现, 在卡宴, 巴黎秒钟每天慢 2 分 30 秒, 那么从某日正午到次日正午的时间就是 23 小时 57 分 32 秒。对摆钟在赤道变慢这一现象, 唯一明确的解释是: g 的值在赤道比在巴黎和极地要小。换句话说, 地球是“压扁的”扁球体, 赤道比极地离地心更远, 因而引力比极地小。下面将对这个事件的方法论进行详细说明¹⁵。

牛顿力学中的单摆

单摆在牛顿研究中所起的作用与其在伽利略和惠更斯的研究中所起的作用类似。为了改进计时、反驳机械哲学家以太存在的假设、证明质量与重量成正比、测定物体的弹性系数、研究碰撞定律和测定声速, 牛顿用单摆来确定引力常数 g 。牛顿派杰出的学者理查德·韦斯特福尔 (Richard Westfall) 写道: “单摆成为 17 世纪科学中最重要的仪器……没有它, 17 世纪就不会产生精确的世界” (Westfall 1990, p. 67)。关于单摆在牛顿科学中的作用, 韦斯特福尔说: “我们可以断言, 没有单摆就没有《原理》” (Westfall 1990, p. 82)。由此可见单摆是多么重要!

引力常数的确定

马林·梅森 (Marin Mersenne) (1588—1648) 用伽利略的圆周摆及其理论基础来确定引力常数 g 的值。伽利略和 17 世纪其他科学家都没有在现代加速度的意义上使用 g 这一概念。他们的引力常数是所有物体在释放后的第一秒中下落的距离——在数值上, 这是现代加速度常数的一半。

梅森的早期研究表明秒摆的摆长是 3 巴黎尺, 于是在一个著名的实验里 (1647 年), 他在墙上安装了一个长度为 3 个钟表长度 (约 39 英寸) 的摆 (秒摆), 并把它与一个自由下落的物体同时释放 (参见图 6.10)。他不断调整下落物体下方的平台, 直到只能听到一个声音为止 (摆撞击

墙面和下落物体撞击平台同时发出声音)。他推断由此可以得到半秒内(完整的单向摆动用时1秒)物体自由下落的高度。然后,运用时间平方规律(这样确定长度为4倍),便能计算出1秒内自由下落的高度(即那时的引力常数)。

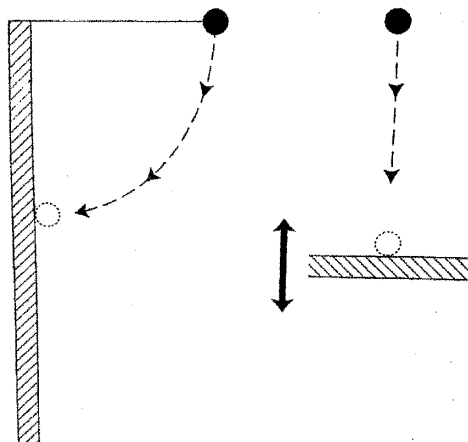


图6.10 梅森对引力常数的确定

惠更斯和梅森认为人耳不能区分自由下落距离6英寸以内的声音,所以他们认为误差植根于力学之中¹⁶。所有人都认识到秒摆是获得1秒钟持续长短的唯一手段,这也成为测量引力常数——自由落体第1秒内下落高度的关键。

牛顿定律的证明

下面这三个性质使单摆成为证明牛顿定律和研究碰撞的理想工具:不管在何处释放,摆长相等的摆都同时到达最低点;它们同时到达最低点,但与质量无关;它们在最低点的速度与连接最低点和释放点的弦长成正比。此外,碰撞物体的路径是能控制的。牛顿通过进行单摆碰撞实验来证明他的运动定律,并说明由他发现的守恒定律。他在总结其中一个证明时写道:

“物体相遇和碰撞后,同向运动获得的动量总和或反方向运动获得的动量之差保持不变。”

(Newton 1729/1934, pp. 22-24)

牛顿没有给它贴上动量守恒的标签,而是将其称为“运动”守恒,但事

实上他描述的这个矢量就是现代所说的动量 mv 。用现在的术语，他的结论能用下述公式来表示：

$$m_1v_1 + m_2v_1 = m_1v_2 + m_2v_2$$

单摆为经典力学的基础做出了巨大贡献。弹性碰撞（碰撞自身不吸收能量）和非弹性碰撞（碰撞自身吸收能量）都遵循动量守恒定律。例如，如果上述单摆由油灰制成，那么当它们发生碰撞时就会变形并停下来，碰撞后不再运动。在这种情况下，人们几乎无法谈论“运动”守恒——尽管笛卡尔等人坚决主张 mv 不仅是运动的基本量度，也是世界守恒的最基本实体，该理论的拥护者这样解释道：虽然整体运动（油灰球）停止了，但机械世界看不到的微粒运动并没有停止，而是被赋予能量。

牛顿第三定律“作用力等于反作用力”是通过两个长摆（3—4 m）并使其碰撞来证明的。他采用了伽利略的一个结论（摆在最低点的速度与其弧对应的弦长成正比），通过比较碰撞前后质量与弦长的乘积把该结论应用于碰撞（Gauld 1998）。几个世纪以来，牛顿的“摇篮”装置绝妙地证明了这个守恒定律，并激发了学生和普通民众的兴趣（Gauld 2006）。

地面力学和天体力学的统一

对于牛顿和自然哲学家而言，一个主要的问题是牛顿假设的物体间的引力是否普遍存在？换种说法，它是否不仅适用于地球上的物体，也适用于太阳系中的物体？和所有古代哲学家一样，亚里士多德明确区分了天体和地面的范畴：前者是永恒的、不变的、完美的，是神的国度；后者是可变的、不完美的、易破坏的，是人的国度。自然这两个范畴的科学不同，那个时代的错误说法认为适用于地面的定律不适用于天体——这条宇宙分界线持续了2,000多年。

单摆运动分析使这种天地之分站不住脚，并使运动“从封闭世界进入无限宇宙”（Koyré 1957）。支配单摆的定律逐渐扩展到月球，进一步扩展到行星。物理学中长期存在的天地之分消失了，同样的定律在适用于地球的同时也适用于天体：仅有一个宇宙，一个统一的太阳系。

牛顿22岁时住在林肯郡躲避伦敦大瘟疫，期间他推测月球轨道和苹果下落可能存在相同的原因（Herivel 1965, pp. 65—69）。他通过计算得到：月球1秒钟在轨道上运行约1千米，其偏离直线路径约二十分之一英寸。用相同的时间，地面上沿水平方向抛射的物体下落约16英尺。因此，

月球“下落”与苹果下落的速率之比约为1:3,700,这非常接近苹果离地心的距离(地球半径)的平方与月球离地心的距离的平方之比1:3,600。这是巧合吗?还是地球引力同样适用于苹果和月球?

牛顿按照自己的方法,继续通过实验研究能否实际观察到上述推导出的结论。他遵从惠更斯的实验测量,说道:

“关于这种力,我们确实发现地面上的物体在下落;正如惠更斯观察到的,位于巴黎这一纬度的秒摆摆长是3巴黎尺8英分半。重物在一秒内下落的距离与摆长的一半之比是圆周长与其直径之比的平方(正如惠更斯先生所证明的),故它是15巴黎尺1英寸。因此,使月球保持在轨道上的力与我们在地球表面观察它作为重物得到的重力相等。”

(Newton 1729/1934, p. 408)

接着牛顿得出他的结论:“所以,使月球保持在轨道上的力与我们通常称为重力的力是同一种力。”单摆将天体与地球相连¹⁷。

计时作为解决经度问题的方法

自15世纪以来,商人和探险家离开欧洲海岸开始远游,因此关于航海和定位的问题,特别是确定经度的问题变得越来越急切。在中国和波利尼西亚,航海家有着相同的问题。伽玛·弗里修斯(Gemma Frisius)(1508—1555)把准确计时作为解决经度问题的方法。1530年,他提出这样的建议:

“在我们的时代出现了各种制作精良的小型钟表,它们尺寸适中,不会给旅行者带来不便。这些钟24小时运转,事实上,如果方便的话,它们可以永久运转。正是在它们的帮助下,我们才能确定经度……如果人们在15或20英里的行程中想知道距离出发点有多远,那么最好等到时钟走到一个非常确切的时间分割点的时候,同时借助星盘和地球就可以确定我们自己当前所处位置的时间……如此一来,就算航程为1千英里,就算我们不知道经过了什么地方,甚至不知道走了多远,也可以用这种方式来确定经度。”

(Pogo 1935, p. 470)

弗里修斯明白，地球24小时自转360度，即1小时自转15度或每4分钟自转1度。因此虽然零度经线是人为划定的，但时间和经度之间存在客观关系。可这种理论的解决方法大大超过了当时的技术和16世纪钟表匠的能力。于是在解决这个紧迫问题中，单摆发挥了关键作用¹⁸。

为了准确确定经度，17世纪几乎所有伟大的科学家——包括伽利略、惠更斯、牛顿和胡克等——都与钟表匠密切合作，把摆动分析、特别是等时性用于制作更准确的摆钟和便携式钟表（特别是天文航海钟）。达娃·索贝尔（Dava Sobel）在1995年就英国人努力解决经度问题写过一本可读性很强的畅销书。可惜的是，虽然该书有成千上万的读者，且读者群使用的语言多达20种，却几乎没有人把经度故事与他们在学校科学课程中对单摆的学习联系起来。因为人们从未将前者与后者一起提及，索贝尔也完全忽略了关键的方法论问题，而这些问题正是伽利略发现的核心。就伽利略和计时来说，索贝尔再次重复了枝形吊灯的讹传，这是很让人失望的（Sobel 1995, p. 37）。

惠更斯知道时钟在解决经度问题中的作用，他提到：“它们非常适于天文观测，也有利于航海者测量不同位置的经度”（Huygens 1673/1986, p. 8）。1664年，罗伯特·霍姆斯（Robert Holmes）船长对时钟进行了最广泛的海上测试，测试增强了惠更斯用时钟解决经度问题的信心。具有讽刺意味的是，霍姆斯这次横跨大西洋的航行，目的是抢劫荷兰在非洲、新阿姆斯特丹（纽约）和南美洲的财富。惠更斯在其《论摆钟》中重新阐述了霍姆斯这次航行中有关科学的部分。

第一个解决航海天文钟表准确性及可靠性这些技术问题的工匠是约翰·哈里森（John Harrison）（1693—1776），即著名的“经度哈里森”。他出生于1693年，是英国约克郡一个木匠的儿子，之后成为了著名的钟表匠，于1776年在伦敦去世。依照1714年《经度法案》设立了英国经度委员会，虽然委员会最后勉为其难给了哈里森20,000英镑的奖金，但哈里森在拿到这笔奖金后的第三年就去世了。这个奖项要求钟表达到前所未有的准确度，即在到西印度群岛航行的8—10周时间内，误差不能超过2分钟。而在到此群岛的往返航行中，哈里森时钟的误差竟保持在30秒之内！此后，世界各个地方及位于其间的各个岛屿暗礁都能够准确地绘制在地图上，因而欧洲的贸易、殖民地和征服都急速扩张。通过了解这

个奇妙故事的各个方面，学生将受益匪浅，进而从中学到天文学、物理学、航海学以及历史方面的知识 (Bensky 2010)。

傅科摆与地球自转

单摆为地球自转提供了第一个可靠的动力学“证明”。根据牛顿理论，在特定平面摆动的摆应在同一平面连续摆动，永不停止。作用在摆锤上的力只有摆线的张力和垂直向下的重力。莱昂·傅科 (Léon Foucault) (1819—1868) 被称为“学校里的普通学生，但却是一个天生的物理学家和无与伦比的实验家” (Dugas 1988, p. 380)。他“看到”：如果把摆准确地放在北极点，使悬挂点自由旋转 (即不会因为转矩而限制摆的运动)，那么：

“如果摆动能持续 24 小时，那么期间摆动平面将绕悬挂点的垂线旋转一周……在北极点，实验一定能取得圆满成功。”

(Dugas 1988, p. 380)

把单摆从极地移到赤道，傅科很容易证明：如果 T^1 是摆平面转动 360 度的时间， T 是地球自转的周期， β 是实验地的纬度，那么：

$$T^1 = T / \sin \beta$$

从上述公式可看出：在极地， $T^1 = T$ (因为 $\sin \beta = \sin 90^\circ = 1$)；然而在赤道， $T^1 = \infty$ (即无限，因为 $\sin 0^\circ = 0$)，故摆动平面在赤道并不旋转。

1851 年 2 月 2 日，傅科对法国科学界发出邀请：“明天 3 点到 5 点，请来巴黎天文台子午线大厅观察地球自转”。他的大长摆为哥白尼理论提供了实验证明，而该理论一直困扰着伽利略、牛顿和其他曾探究过这个问题的数学家及科学泰斗们 (Aczel 2003, 2004, Tobin 2003)。

在傅科证明地球自转之前，所有天文观测经过适当调整，如第谷·布拉赫 (Tycho Brahe) 所做的调整，都能符合基督教传统的地球静止理论。直到 1835 年，为保持太阳系的几何模型，天主教会充分利用这种特设调整的“合法性”，将哥白尼和伽利略的著作列入《禁书目录》(Index of Prohibited Books) (Fantoli 1994, p. 473)。对于 19 世纪大多数物理学家来说，傅科摆明显的转动 (依次撞击放置在圆弧上的标记) 是关于地球自转最生动的证据。

科学的一些特征

正如在第一章论及的以及在第十一章将要再次概述的，本书的方法及给科学教师的建议是在教授课程内容的过程中明确科学的不同特征，尤其是哲学部分。从历史角度来看，单摆为这样的科学课程提供了丰富的资源。伽利略是科学—哲学家（用现在的术语来说是哲学科学家）的杰出典范。他在许多领域都有重大的哲学贡献：本体论方面，他区分了第一性的质和第二性的质；认识论方面，他反对权威作为知识的仲裁者，并认为感觉证据从属于数学理性；方法论方面，他发展了数学—实验方法；形而上学方面，他批判亚里士多德的因果范畴，并拒绝把目的论作为解释原理¹⁹。不幸的是，尽管伽利略对哲学有重要贡献，尽管他对17世纪几乎所有的哲学家以及诸如康德（Kant）和胡塞尔（Husserl）等其后的哲学家都有公认的影响，但他在大多数哲学史中充其量也只是一个小配角。当然，科学教材也忽视了他的哲学成就。然而，从历史和哲学角度进行单摆教学便能弥补这种可悲的疏漏。

同时，知识丰富的教师也应意识到：借鉴伽利略的生平教授哲学课程存在陷阱，这个陷阱就好比是借鉴耶稣（或任何其他伟大的宗教人物）的生平来教授神学或哲学课程。阿尔伯特·施韦泽（Albert Schweitzer）在其伟大的著作《探寻历史上的耶稣》（Schweitzer 1910/1954）中有如下透彻的评论：

“因此，相继而来的每个神学时代都在耶稣那儿找到了自己的思想，这确实是能使耶稣永生的唯一方式。然而，不仅每个时代都在耶稣那儿找到了它们的映像，而且每个人都依照自己的特征来创造耶稣。”

（Schweitzer 1910/1954, p. 4）

从施韦泽这里能够学到，不要害怕借鉴历史人物及其工作，而是要在借鉴这些历史人物及其工作时小心谨慎、深思熟虑：不能把历史人物看做是罗夏墨迹测验中的墨水斑点（Rorschach inkblot）²⁰。记住这个告诫，下面是单摆教学中会出现的一些科学特征。

科学方法论

摆动研究的历史揭示了归纳主义和证伪主义作为阐述科学方法的局限性。就归纳主义而论，伽利略显然并没有因为观看各种摆（球在圆弧中、枝形吊灯、秋千、机械调节器、吊在线上的软木锤和铁锤等等）而归纳出摆动的“绝妙性质”或定律，也没有把他在特例中看到的東西概括为一般的陈述。一位热衷归纳主义的人评论道：

“对他（伽利略）来说，基于观察的事实被当做事实，与一些先入为主的思想没有关系……观察事实可能适合，也可能不适合公认的宇宙框架，但在伽利略看来，重要的事情是要接受事实并创立适合它们的理论。”

（H.D. Anthony in Chalmers 1976/2013, p. 2）

亚里士多德学派的方法论则恰好相反。对于该学派而言，经验事实是科学的起点，他们力劝伽利略忠于事实，但并不成功；这也是笛卡尔的方法论，他断定：因为相关事实非常杂乱且毫无规律，所以关于单摆运动的科学不可能存在。亲眼所见世界上发生的事情固然重要，但也没有归纳主义标榜得那么重要。德拉布金（I.E. Drabkin）清楚地认识到这一点。关于亚里士多德的力学，他提到：

“它不受不充分观察或过度猜测的阻碍，而受过度忠于观察数据的阻碍……它如此忠于自然现象，以致阻碍了从中抽象出理想状况的能力。”

（Drabkin 1938, pp. 69, 82）

证伪主义观点认为，科学的本质是拒绝与事实相矛盾的理论，这是与卡尔·波普尔（Karl Popper）相关的方法论立场。在处理单摆这一范例时，其处境比归纳主义好不了多少。归纳主义和证伪主义是经验主义硬币的两面，因此可以预料，前者失败之处，后者同样也会失败。

惠更斯面临的这类情形，即根据相反证据对理论进行修正，在科学发展过程中不断重复。里彻（Richer）断言，摆钟在赤道地区变慢恰好说明了关于科学和理论检验的一些重要方法论题材。自公元前2世纪埃拉托色尼（Eratosthenes）以来，地球是球形（理论T）已成为根深蒂固的观

念。而且对于摆长固定的摆来说，假设其周期只受重力影响，那观察得出的结论是惠更斯的秒摆在巴黎和卡宴具有相同的周期（观察O）。因此，T意味着O：

$$T \rightarrow O$$

然而，里彻发现，在卡宴秒摆的周期似乎更长（ $\sim O$ ）。于是，根据理论检验的简单证伪主义观点——例如首先由惠更斯自己阐述，并在20世纪早期由哲学家波普尔进一步发展（Popper 1934/1959），我们得到：

$$T \rightarrow O$$

$$\sim O$$

$$\therefore \sim T$$

但是，理论检验从未如此简单——先是波普尔认识到了这一点，接着托马斯·库恩（1970）和伊姆雷·拉卡托斯（1970）做了清晰的描述。在17世纪，许多T的支持者仅仅否定第二个前提 $\sim O$ 。例如，天文学家让·皮卡尔（Jean Picard）不承认里彻的发现。他宁可怀疑传达信息的人，也不愿接受变化的引力这一信息。同样，惠更斯也没有把里彻当做实验家，特别是由于那艘船的船长曾经碰掉并摔碎了惠更斯的一座钟。

其他人则看到，理论并不是直面关于它们自身的证据，在理论检验中总是存在着“在其他条件都相同的情况下”的假设，因此就有“其他条件都相同”的条件（C）伴随理论进入实验。这些典型的条件包括仪器可靠性的说明、观察者的能力、假设的经验事态、推导O时所使用的理论工具和数学工具等等。因此，

$$T + C \rightarrow O$$

$$\sim O$$

$$\therefore \sim T \text{ 或 } \sim C$$

越来越多的证据，以及包括埃德蒙德·哈雷爵士（Sir Edmund Halley）在内的其他实验家证实了里彻的发现。所以，用弗莱克（Fleck）的术语说（Fleck 1935/1979），一旦 $\sim O$ 作为科学事实成立，那么对于地球是球形这一理论T的支持者来说，就不得不调整理论去适应它。

坚信T的人会颇有道理地提出“其他条件都相同”的假设是错误的。原则上，这些考虑都很合理。的确如此，放弃科学中已确立的理论从来不是件容易的事，尤其是替代理论要承认地球的形状为扁球体——全能

全知的造物主创造的地球形状并不好看。在C中有许多明显的项被认为是单摆变慢的原因：

- C¹：实验者能力不够。
- C²：热带地区潮湿导致单摆变慢，因为那儿空气密度较大。
- C³：热带地区炎热导致单摆膨胀，所以摆动变慢。
- C⁴：热带环境导致时钟运动部件间的阻力增大。

上述每项都能用来解释单摆变慢的原因，从而维护地球球形理论这一真理。然而，这些原因逐步被更具可行性和可控性的实验排除。当然，许多人会说：相对于1米（1,000 mm）而言，一根火柴厚度（3 mm）的调整是微不足道的，以至于微小到正好能被归于实验误差或被简单地忽略掉。如果地形是球形的理论很重要，那么这种倾向性就可以理解。但是，对于思想更严谨的科学家来说，由于3毫米的差异长期存在，似乎不得不抛弃那根深蒂固的、笃信宗教的地球是球形的理论。

然而，在仍然坚持地球球形理论T的同时，惠更斯为赤道处g的减小找到了更细致的说明，他论证道：

- C⁵：物体在赤道比在巴黎旋转得更快，所以赤道处的离心力更大。这抵消了重力的向心力，故赤道处的净向下力（重力）减小，因而摆的摆动速度也随之减小，即周期增大。

在坚持地球球形理论的同时，为赤道处摆变慢提供的最终解释非常合理，似乎拯救了这一理论。许多人高兴地拾起这张“免罪”卡，继续相信地球是球形的。惠更斯却没有这样做，他开始计算赤道处实际的向心力及其对引力的影响。

用现代术语计算如下：赤道处物体每天（86,400秒）沿圆周路径旋转 2π 弧度，因而角速度 ω 等于 $2\pi/86,400$ rad/sec或 7.3×10^{-5} rad/sec。因为地球半径大约是 6.4×10^6 m，所以物体的向心加速度为 $a_c = \omega^2 r \approx 0.034$ m/sec²。这是赤道处物体的引力加速度因地球自转而减小的值²¹，这就导致秒摆摆长缩短1.5 mm；剩余的1.5 mm仍未得到解释，而这还不到一根火柴的厚度。但也是因为这个微小的差异，惠更斯和牛顿准备抛弃地球球形理论，主张地球真实的形状为扁球体。对新的定量科学而言，人们不能继续高唱“足够接近就足够好”这样的颂歌，而这正是应该教给学生去欣赏的东西²²。

实际上，检验情形甚至更复杂。形而上学在理论评价中发挥了作用。因此，检验情形如下：

如果理论 (T)、条件 (C) 和背景形而上学 (M) 蕴涵观察 (O)，即 $T \cdot C \cdot M \rightarrow O$

如果 O 不符合这种情况，

$\sim O$

所以，T 假或 C 假或 M 假

$\sim M \vee \sim T \vee \sim C$

威拉德·范·奥曼·奎因 (Willard van Orman Quine) 及其之前的皮埃尔·迪昂 (Pierre Duhem) 详尽说明了在地球形状争论中出现的典型的理论评价的方法论观点：

“我们所谓的知识或信念的整体，从最偶然的地理和历史内容到最深奥的原子物理学，甚至纯数学和逻辑，都是人工产物，仅能在边缘地带冲击经验……但仅仅依靠边缘条件是远远不能决定总体范围的，因此，根据任何单独的相反经验对哪些陈述进行重新评价具有很大的选择范围。”

(Quine 1953, p. 42)

关于地球形状的争论是科学史中的精彩篇章，能把它写成极好的教学故事甚至戏剧，其中包含了各种要素：有权势和有声望的人物、“无名”的局外人、对重大问题的争论、数学和严谨的计算、宗教以及最终决策的制定——用大量的机会和理由来维持现状。然而令人遗憾的是，很少有人知道这个篇章，也几乎从未有人教过它。如果历史和哲学是有价值的，那么就没有理由不进行这一篇章的教学，但如果“日常的、可行的、立竿见影的好处”是开设科学课程的指导原则，那么教授它的可能性就不大。正如“实用性”立场的拥护者诺亚·费恩斯坦 (Noah Feinsein) 所写：

“课程实用性理论似乎暗示着课程应删除一些权威内容——例如地球形状，因为学生很难发现这些内容与日常生活之间的联系。”

(Feinsein 2011, p. 183)²³

实在对象与理论对象

对17世纪方法论革命进行概念化的一种方式，是认识到实在对象与根据某一科学理论观点对这些对象进行描述两者之间的差异。例如，牛顿的力学理论为关键概念（动量、加速度、平均速度、瞬时速度、重量、动力、力、质点等）提供了定义。这些概念是来之不易的理论建构，牛顿利用它们来阐述单摆运动。在科学革命之初，这些概念初现端倪，并随着时间的推移不断得以完善。

以加速度为例，最初，伽利略及自然哲学2,000多年间所有的前辈都把它定义为速度的增加与所通过的距离之比——考虑到加速物体的速度随时间和距离的变化不断增加，而通过的距离更易测量，也更易被视觉和触觉所感知，因此，给出这样的定义是非常自然的。骑在飞驰的马背上，看到柱子经过，却看不到时间流逝。距离是可测量的且易于进行几何分析描述，而这种情形下时间是不可测量的，且不太易于进行精确的几何分析。直到伽利略中年才把加速度的定义改为现代的速度变化与所用时间的比值。1604年，他就已经认识到匀加速物体（自由落体）所经过的距离随所耗时间的平方增加。然而，从那时起经过至少六年的时间，他仍然相信速度增加与下落距离成正比。这两个理念（笛卡尔也持有这两个理念）并不一致。在1610年后的某个时间，他将加速度改为现代的定义，至此这两个理念才变得一致²⁴。30年后，伽利略在著作《新科学》的“第三天”这一章中写道：“如果运动从静止开始，在相等时间间隔内速度的增加相等，那么这种运动就可以称为匀加速运动”（Galileo 1638/1954, p. 162）。

如果没有这种定义的变化，那么也就不可能发现自由落体的基本定律。孩子们大部分的校园时光将在等待自己建构加速度的现代定义中度过，因此，大多数教师的力学课常以教授学生加速度的现代定义开始，其他的替代方法根本不予考虑，甚至连发现式学习或最少教学指导的坚定倡导者也是如此。然而，这两种选择和这个历史故事有助于学生的讨论和分析，学生能由此意识到科学中“发现”概念的中心地位。可是，正如前面所述，这取决于教师对他们所教内容在历史和哲学方面的认识。

虽然不及牛顿定律定义得那么清楚，但这些环环相扣的概念形成了伽利略物理学的概念结构，并为关键术语提供了意义。正如伽利略所说，这

是他的“纸上世界”或前理论体系，是孩子们需要掌握的必不可少的科学支架。从某种意义上来说，我们需要将这个科学支架传递给孩子们。实在论者认为，还有一个充满物质和其他对象的世界存在于伽利略的理论之外。在伽利略的实践中，我们能看到一个存在于理论与现实世界之间的最重要的干预层——理论对象领域。它们是相关理论概念想象和描述的自然对象。行星和下落的苹果有颜色、结构、不规则的表面、热量、固体性质以及许多其他性质和关系，但当它们成为力学对象时，就仅仅是具有特定加速度的质点。因此，对它们进行概念化界定时，它们就不再是自然对象，而是理论对象。同样，当经济学家思考苹果时，它们就成为不同种类的理论对象——具有特定交换价值的商品。当植物学家思考苹果时，他们创造了另外的理论对象。对伽利略而言，在他的力学理论中，悬挂在一段绳的末端并在空中摆动的铅球是一个单摆，而这个摆可以看做是悬挂在无摩擦力支点、无重量的绳末端的质点。理论对象是由科学家创造或建构的；然而与许多建构主义者和科学知识社会学家的主张相反，实在对象却不是这样创造的。没有认识到这一点是许多哲学困惑产生的原因。

实验

中世纪科学家在建构了物理系统的数学模型之后，便没有更进一步的发展。与他们不一样的是，伽利略不仅以同样的方式构建了一个理性力学系统，他的理论对象还是联系现实世界和进入现实世界的手段。对他而言，理论对象不仅为干预物质世界提供了方法，而且在必要的时候还为按照理论对象的描述创造物质世界提供了方法。当德·蒙特告诉伽利略他用球在铁弧中进行了实验，球并没有像伽利略所说的那样运动时，伽利略的回答是铁弧一定不够平滑，球一定不够圆等等。伽利略已建构的理论对象促使他提出了改进实验的建议。该理论对象告诉他实验中必须要纠正的东西。没有这个理论对象，他就不知道应该校正球的颜色、弧的材料、弧的直径、球的质量、时间还是其他100个因素中的一个。正是被伽利略这方面的努力所感动，康德评价伽利略为“一束照亮所有自然学生的光”，因为他证明了：

“理性仅仅能够洞察那些根据其自身计划所产生的东西……于是，在经历了多个世纪的随机摸索而无其他进步之后，自然研究走上了科

学的康庄大道。”

(Kant 1787/1933, p. 20)

伽利略既是能工巧匠也是实验主义者，他在设计、制作和推广新颖的技术仪器中付出了极大的心血。斯蒂尔曼·德雷克 (Stillman Drake) 发现伽利略在佛罗伦萨的手稿中记录了很多实验活动——他设计制作了脉搏摆、小秤、比例罗盘、测温器和望远镜，并为制作摆钟制定了切实可行的计划 (Bedini 1986)。此外，他还测量并计算了单摆运动 (Drake 1990, Chapter 1)。然而，伽利略的测量和实验是有指向性的，它测量的是伽利略的理论概念规定的环境中的运动情况。此外，正如我们在他与德·蒙特的争论中见到的，理论概念化使他能够识别偏离理论的“偶然”。一旦如此，就能够明确实验的允许范围，进行精确实验。正如我们注意到的，经典力学的历史是长期试图促使自然与牛顿理论相吻合的过程²⁵。

科学定律

自 1739 年大卫·休谟 (David Hume) 的《人性论》(Treatise on Human Nature) 出版以来，一直流行对科学定律的规律性阐述。书中，他力图反驳必然论者对定律持有的观点。对休谟及其跟随者来说，科学定律表明可观察之物间的恒定关系，表明始终如一的事物就是事实，而单摆定律对休谟的阐述是一个致命的挑战：它没有规律可循。在非常精细的实验条件下，小摆动、重摆锤、最小的空气阻力和支点阻力“总是出现”，这一状况不符合定律的规律性阐述。此外，正是这些表面上看似违反定律的真实情况，使人们构想出此定律适用的近似条件。那就是定律的真实性其实是一种假设，这种假设用来识别近似于此定律的事物，而且也用来识别何时把某种行为看做“几乎与定律一致”。鲁塞尔·汉森 (Russell Hanson) 很好地表述了这个问题：

“牛顿、克拉克·麦克斯韦 (Clerk Maxwell)、爱因斯坦 (Einstein)、玻尔 (Bohr) 和薛定谔 (Schrödinger) 的一致性是关于简明公式的杰出发现，从这些公式中能推导出有关各种现象的描述和说明。而这些并不是关于未知规律的发现。”

(Hanson 1959, p. 300)

迈克尔·斯克里文 (Michael Scriven) 曾写道：“自然定律最有趣的地方在于它们都被认为是错误的”(Scriven 1961, p. 91)。南希·卡特赖特 (Nancy Cartwright) 在她的《物理学定律如何撒谎》(Cartwright 1983) 中也持有类似观点：如果物理学定律被解释为经验性概括或可感知概括，那么这个定律就在说谎。她这样表述道：“我的基本观点是，基本方程不支配实在对象，仅支配模型对象”(Cartwright 1983, p. 129)。世界没有像基本方程规定的那样运行。这种主张也并非一无是处：秋叶缓慢凌乱地飘落符合引力定律，但方程 $s = ut + \frac{1}{2}at^2$ 几乎不能描述其下落距离，因为方程针对的是理想化情形。秋叶下落的真实描述（现象陈述）非常复杂，非一般测量能够得出。落体的定律呈现的是一种理想化情形，但也是一种实验上能够接近的情形。通常，陈述这些定律时，有许多明确的条件，如“其他条件不变”或“其他条件都相同”²⁶。对于单摆运动定律来说，其他条件都不变是指：

- 线无重量（所以也没有阻力）；
- 摆锤不受空气阻力；
- 支点无摩擦；
- 摆锤的全部质量集中于一点；
- 摆在一个平面内运动，未发生任何椭圆运动；
- 作用于摆锤的力只有重力和拉力。

然而，我们只能接近这些条件，却无法实现这些条件，这是罗纳德·吉雷 (Ronald Giere) 努力设法证明的 (Giere 1988, pp. 76-78, 1999, Chapter 5)。他相信科学定律不仅是假的，而且它们既不普遍也不必然 (Giere 1999, p. 90)。吉雷关于单摆运动定律的阐述与前面讨论的科学的实在对象和理论对象所表达的内容非常接近，他说：

“根据我的另一个解释，方程和世界的关系是间接的……于是，能用方程来建构一个巨大的抽象力学系统……我把这个抽象系统叫做模型。通过规定，运动方程绝对准确地描述了模型的运动状态。我们能说模型证明了方程，或者我们也能说，对模型而言，方程是真的，甚至可以说必然是真的。”

(Giere 1999, p. 92)

客观主义

17世纪的单摆运动分析为科学理论和认识论的客观主义观点提供了支撑²⁷。这些客观主义观点与所有经验主义者的认识论和科学方法论的理论相反。从17世纪和18世纪的培根(Bacon)、洛克(Locke)和贝克莱(Berkeley)到20世纪的阿尔弗雷德·艾耶尔(Alfred Ayer),经验论者一直统治着对科学的哲学反思。艾耶尔的《经验知识的基础》(Ayer 1955)和《知识问题》(Ayer 1956)都对认识论进行了典型的经验论阐述。这两部著作都聚焦于感知的问题,是经验论的明确标志。尽管对理论依赖于感知存在各种各样的混乱与担忧,但事物的表现如何并不具有科学重要性。由于集中于感知,排斥实验和理论,错失了科学革命的主要要点,为了阐明这一点前面已经做了足够多的阐述。经验主义传统坚持以下几点:

1. 基本的观察性知识或直观知识与理论知识之间存在区别。
2. 基本的观察性知识或直观知识不包含理论。
3. 个体观察者或思考者(或认识者或主体)可得到(或可被给予)基本的观察性知识或直观知识。
4. 理论知识来源于基本的非理论知识,或者说理论知识最终借助于非理论知识得以证明。

理性主义是经验论的另一面。经验主义者的认识论和理性主义者的认识论都是基础主义的:它们都在个人经验中为知识寻求基础。但是,传统经验论把经验定义为感觉的“外部”经验,理性主义扩展经验的定义使其包含个人心灵或理性的“内部”经验。在这两种认识论中,个体认知者的经验是最基本的。一旦接受了经验主义问题,不管伪装成经验主义还是理性主义,离怀疑论和相对主义就仅有一小步的距离了,而这一小步往往轻易就能迈出。显然,“外部”经验和“内部”经验受个人环境、语言、文化、意识形态和理论的影响。“理论依赖于观察”多次被提及。当它与经验主义关于知识的假设相结合时,经常导致相对主义认识论或怀疑主义认识论。如果经验是知识的基础,那么此基础便建立在摇晃的地基上,轻易就能使人们对该建筑物的稳固性产生怀疑。

经验主义问题另一个充满活力的现代演变是建构主义。正如在第八章中将要详细说明的，它包含三大错误的认识论：个人主义、经验主义以及不可避免的怀疑主义。从亚里士多德直到现代建构主义，有一个重大错误在于他们抬高被动经验（观看和观察），贬低干预、使用仪器和测量——后面这三者把研究者与世界的因果过程联系起来，从而限制了主观性。否则主观性如同罗夏墨迹测验一样，是不可限制的。

波普尔1934年的著作《科学发现的逻辑》标志着客观主义与经验主义之间的决裂。但又过了40年，该阐述才在《客观知识》中得到充分发展，他写道：

“传统认识论在主观意义上（‘我知道’或‘我在想’通常意义的用法）对知识或思想进行研究。我断定，这会使学生的认识论走入误区：虽然想要研究科学知识，但实际上却研究了与科学知识无关的东西。因为科学知识不仅仅是‘我知道’某些知识通常意义上的用法，‘我知道’的知识意义上属于我称为‘第二世界’（主观世界）的知识，而科学知识则属于第三世界，属于客观理论、客观问题和客观论证。”

（Popper 1972, p. 108）

知识理论中的大多数客观主义者都相信波普尔的信念：第一，科学知识的增长是认识论的核心主题；第二，知识绝不是信念或心理状态，它超越个人意识。波普尔描述了“三个世界”：第一世界，客体、过程和事件（物质和其他）；第二世界，主观的、个人的和精神的的活动（精神生活或个人意识）；第三世界，科学及其他理论、建构和问题情境。它们是文化的组成部分，虽由人创造，但独立存在于第一世界和第二世界之外²⁸。

客观主义传统强调：首先，认知话语或理论话语与真实世界相分离。话语不创造真实世界（如理想主义），而真实世界也不以某种方式来创造话语（如从洛克到列宁的各种反映理论或印记理论）；真实世界也不为话语提供目标或基础（如经验主义和实证主义）。理论话语和世界都是独立自主的。从这种意义上来说，理论独立于个人而存在。因此，与许多建构主义者的主张相反，科学知识也是独立于个人而存在的。

其次，客观主义观点的内部理论可做如下区分：

（1）话语的概念基础：包含理论术语和观察性术语的定义（在这两

种术语之间不做决定性区分)；

(2) 理论的概念结构：通过产生理论结构（伽利略的定理和命题）的技术手段（数学和逻辑）来详尽说明和处理基本概念；

(3) 理论的理论化对象：正如理论构想和描述的那样，它们是世界的对象——把天平当做悬挂相似重量的均一的线，把摆当做悬挂在无重量线上的质点，把碰撞球当做无色绝对坚硬的物体，等等。

教育中的客观主义

“客观主义”第二种意义的说法引起了很大混淆。这种意义在科学教育文献中尤为常见，是指在“客观真理”、“普遍性”或“信念确定性”意义上的客观主义。这种客观主义完全独立于波普尔派的意义（实际上，波普尔否认绝对真理的可能性）。在科学教育中，客观主义通常被涂上绝对论的色彩且常被混淆。它通常也被理解为实证主义的另一个版本。两位科学教育者都曾写道：

“目前，大多数科学教学以认识 and 学习的客观主义观点为基础……在这里，客观主义包括所有‘在自然世界中能通过经验检验命题的真实价值’的知识理论。”

(Roth & Roychoudhury 1994, p. 6)

波普尔则完全否认这种观点。在肯尼思·托宾 (Kenneth Tobin) 的《科学教育中的建构主义实践》(Tobin 1993) 中，“客观主义”的索引项标注为“见实证主义”。当然，实证主义是波普尔终生都反对的一种哲学立场。这种“哲学路线交叉”无论对科学教育的学术进步还是与其他学科的有益结合，都造成了严重障碍：时间被白白浪费在攻击稻草人或享受“良好感觉”的愉悦之上，却忽视了重要的文献和论证。

观察

观察是科学教育的重要因素。教给孩子仔细观察是每一门科学课程的组成部分。一段时间以来，教育界已经认识到观察更具哲学意味或存在更多问题的维度²⁹。近来，观察这一主题重新受到关注，莱德曼 (Lederman) 研究小组主张“实证基础”是科学本质的首要特征，该主

张也得到很多人的支持。他们对此有如下说明：

“学生应能区分观察和推理……认识到观察和推理之间的关键区别是理解科学世界中存在的大量推理、理论实体以及术语的前提。”

(Lederman *et al.* 2002, p. 500)

为实现这一目标，首先教师必须认识和重视这种区别。本书的论题是HPS能够帮助教师更好、更深刻地理解吸引科学教师的众多理论问题、课程问题和教学问题，为科学教学和科学教师的发展做出贡献。该论题能够通过详细阐明观察这一主题得到检验。

单摆的故事为讨论将个人心理与观察者的社会生活相联系这一观察过程（包括视觉、感知、观看、察觉和领会）提供了机会，这也是“物体知觉”和“命题知觉”之间的区别。

伽利略不断看到周围的人没有看到的東西，甚至被称为“山猫”的莱昂纳多·达·芬奇也没有看到伽利略看到的東西。显然，在某种意义上，莱昂纳多的确看到了伽利略看到的東西，但在另一种意义上他并未看到。路德维希·维特根斯坦（Ludwig Wittgenstein）用看到（*seeing*）和看做（*seeing as*）进行区分（Wittgenstein 1958），而波普尔则用感知（*perception*）和观察（*observation*）来进行区分。当健康的眼睛处在适度的光照环境中时，就会有物体知觉。此时，眼睛看到那些可以看到的東西。在看见的这些東西中，有一些引起人们的注意或关注。然而，这种物体知觉没有认识论或科学方面的意义，甚至也没有太多个体意义。在人们注意到物体之后，就开始用语言表达他们看到的東西。之后就是命题知觉，在这种知觉中，人们看见“那个p”，在这里p是某一命题或陈述。命题知觉完全取决于语言、社会嵌入和可利用的理论。命题p必须用语言说出来或写出来，也就是说它需要语言。某人朝田野看去，看见了“那里有树”。他们能看到篱笆，但却没有注意到篱笆。某人看到一个房间里有人，但仅注意到他想见的人。

请看图6.11和6.12的文字。从小孩到成人，每个人用眼看它们，不论是否注意到它们，都能产生对这些文字的物体知觉。



图6.11 汉字



图6.12 日本文字

一旦注意到这些文字，就会出现命题知觉。在最简单的层次，人们可能看到“纸上有标记”；在下一个层次，人们可能看到“纸上有亚洲文字”；再深一个层次，人们可能看到“纸上有汉字”，而另一些人可能看到“纸上有日本文字”；再深一个层次，人们可能看到“纸上有汉字和日本文字”，但人们不知道它们的意思；在较复杂的层次，人们可能看到“纸上有汉字‘暂’和日本文字‘停’”；最高层次，知识更渊博的人将认识到汉字应翻译为“暂停”，日本文字应翻译为“停止”。命题知觉等级的上升完全取决于感知者的所知、所想和语言能力，而这些都是需要学习或受文化熏陶的。没有这一点，就不存在命题知觉。命题知觉与包括科学和科学研究在内的大多数人类生活密切相关。

两个人可能有相同的命题知觉“房间里有一人”，但其中一个人可能看到“澳大利亚总理在房间里”。这种命题知觉要求人们能利用头脑中的某些知识或信息。观看下棋并发现“黑车受到白女王的威胁”，这取决于观棋者是否学过国际象棋的规则。不对上面描述的情形进行反复甚至仔细地观察，文字还是“停”、人物还是澳大利亚总理，棋子还是受威胁的“车”；而认识到后一种情况需要人们跟着老师学习并习得复杂的语言。正如英国“日常语言”哲学家奥斯汀(J. L. Austin)(1911—1960)评论道：“尽管不是作为最终的裁决者，我们用敏锐的语言意识使自身对现象的感知变得敏锐”(Austin 1961, p. 130)。

对学生而言，敏锐的语言意识必定源自外界及其与群体的联系，而教师是这种联系的主要渠道。两个智力一般的学生可能都会产生命题知觉“物体在圆周上做平滑运动”；当他们学过基本的牛顿力学后，他们才能看到“物体在加速”；而且肯定不是通过“头脑风暴”或“谈论”他们所看到的東西才发现“物体在加速”。同样，像亚里士多德所看到的，学

生也可能看到“热空气上升到天花板”，但只有根据基本的牛顿力学，学生才能看到“下降的冷空气推动较轻的热空气上升”。第一种描述导向“漂浮”（levitas）力学，而第二种描述导向“沉降”（gravitas）力学。因此，解释取决于如何描述事情，以及人们有什么样的命题知觉。对“英国人侵略澳大利亚”的解释不同于对“英国人发现澳大利亚”的解释；对“我看到比利（Billy）表现出注意力缺乏症状”的反应不同于“我看到比利表现出被宠坏了的孩子的调皮捣蛋的行为”的反应。显然，政治、道德和美学中的命题知觉完全取决于语言。可利用的语言“越敏锐”，观察就越深刻。当然，对于命题知觉而言，语言是必要条件但不是充分条件。

命题知觉与物体知觉并没有紧密联系。命题知觉总是在推理。看同一事物的两个人却看到完全不同的东西。在中东，一些人看到美国在捍卫民主进程，而另一些人则看到美国在捍卫其战略利益。这种例子数不胜数。人们必须努力看到“事实的真相”，而这些事实是命题知觉的组成部分。正如每个关于事实的陈述都是一个命题，问题是要看到这种一致看法能走多远。英国的经验论者和最近的实证论者认为：一些基本的感觉陈述能够为所有关于世界的命题知觉的变体提供基础³⁰。例如，“我看到一片红色”或“我感觉到一片红色”是下面这些感知的共同基础：“我看到一个西红柿”、“我看到一个停车标志”、“我看到地板上有血”等等。有红色的感觉是物体知觉，当描述它时，命题知觉出现了，这就是推理。

回想第二章提到实证主义者菲利普·弗兰克（Philipp Frank）时有这样的说法：教科书里写着早上我们看到“太阳从地平线升起”，这是错误的。他说道：“实际上，我们的感观仅仅表明早上地平线和太阳之间的距离在增大，但并没有告诉我们是太阳在上升还是地平线在下降”（Frank 1947/1949, p. 231）。“太阳在运动”这个陈述只是一个命题知觉，由我们早上看太阳时获得的物体知觉为其提供基础。

对于这些理由，柏拉图早在2,500年前就说过：“我们通过眼睛看到，而不是用眼睛看到。”这被认为是知觉哲学悠久历史的开端³¹。而近期，知觉哲学已经与心灵哲学、认知心理学和现象学联系起来。1934年，波普尔颇具先见之明地告诫人们不要误解观察在科学中的地位：

“把经验科学简化成感官知觉，进而简化成我们的经验……应当拒绝这种主义……几乎所有认识论问题所遭受的心理学逻辑混淆都

不会比这更严重。”

(Popper 1934/1959, p. 93)

上述这些是为了反对早期实证主义者对感觉印象、感觉数据和其他假定科学感知基石的认可。在一篇关于“科学思想的本质”的论文中，沃利斯·萨奇廷 (Wallis Suchting) 评论过这些问题，他写道：

“这样，经验主义的关键缺点确实与其依据感觉经验的中心点无关。特别是关于科学的‘基本语言’应当是‘现象主义’还是‘物理主义’的争论，也与这个主要问题无关，可以说与以往相同的是，这仅仅是一个家族内部的争论。经验主义的主要缺点与许多其他立场相同，即所有这些立场都把对象自身（甚至于这些对象是构想出来的）看做具有认识意义，看做是内在决定了其自身的表现‘形式’。这与以往相同，是它们自己的代表，而不能决定给定‘形式’代表的应用程度。因此，恰恰相反，经验主义缺点的本质是或多或少能直接从其表现中‘读出’它所代表的东西。”

(Suchting 1995, p. 13)

数据、现象和理论

前面思考了实在对象和理论对象的区别、物体知觉和命题知觉、定律的理想化和非休谟阐述，这些思考表明区分数据和现象以及把它们与理论进行区分的重要性。数据是人们观察到的，而现象显然不是如此。科学定律和理论是关于现象的，而不是关于数据的³²。如果懂得了这点，那么关于科学的许多事情，尤其是单摆运动的研究就变得更清楚了。

实在对象（过程、事件、发生、状态）要么是在自然环境（亚里士多德的偏好）中观察到的，要么是在实验环境（伽利略和牛顿的偏好）中观察到的。观察可以是直接的（用眼睛、显微镜等），也可以是推断得出的（仪表读数、仪器显示等）。这全部发生在实在领域，而不是话语领域。然后，观察是用语言说出来、描述出来、写出来或者用表格表示出来的。进行这些活动必须用某种语言（包括数学语言），并依据某种理论观点。这些全部发生在话语领域。这些描述根据特征被过滤、分类和挑选——许多读数和描述被简单地扔掉或忽略了。最后的结果就是科学数

据。那么，这些就是实在对象（过程、事件、发生、状态）的初始表象。显然，这一步依赖于理论。在物理学中，下落的红苹果或线上的摆锤可表示为图表上的点、纸条上的打印输出、屏幕上的线。这些抽象并不意味着要机械镜像地复制真实，而是要代表真实。正如前面所述，经济学家、艺术家和农夫用不同的方式表现相同的实在事件。真正适当的代表并不意味着所有的表现都要完全一致，也不意味着单纯复制所反映的对象。

对于单摆而言，即使是高度精密的实验仪器也会有分散的数据点。在绘制周期一摆长图时，分散极大；在绘制周期一摆长平方根图时，分散明显减小。这便揭示了直接关系的现象。单摆运动定律并不是要说明每一个数据点，而且也不能说明，因为它们太不规则。然而在科学中，现象从数据而来。现象是科学定律和理论的主题。通常，最佳拟合线连接数据点，之后这条线才用来代表所研究的现象。此后，讨论和争论的是现象，而不再是数据。许多个人使用望远镜得到的观察结果被修正和挑选后构成了天文数据。从这些数据中，我们推断、建构和创造行星现象：圆轨道、椭圆轨道、日心轨道或地心轨道。我们并未看到这些行星现象，因为它们不是观察来的，然而这不是科学的障碍。一旦我们选定了现象，它就成为我们的科学理论主题。在《原理》第二卷，牛顿说明了他的哲学（我们现在所说的科学）推理规则之后，用一部分章节来论述现象。他认为，他的世界系统必须解释六个现象，其中包括：

“恒星静止不动，五个主行星的周期和地球绕太阳运转（或者太阳绕地球运转）的周期是它们离太阳的平均距离的 $3/2$ 次方。

从月球到地心画一半径，所描绘的面积与所描绘的时间成正比。”

（Newton 1729/1934, pp. 404-405）

上述这些并不是对观察的陈述。用我们的术语来说，它们不是数据，而是有待解释的对现象的描述。正如牛顿所说的，这些现象来自于那些巨人（伽利略、开普勒和第谷）的工作，而自己只是站在他们的肩膀上³³。

开普勒的“椭圆行星轨道”也是现象，这些现象不同于天文数据和测量，而天文数据和测量也未必蕴涵着现象。正如19世纪威廉·惠威尔（William Whewell）在批判密尔（Mill）对科学进行归纳主义解释时所做

的评论，椭圆轨道概念是根据开普勒的精神而不是数据得来的。从数据到现象通常没有单一的推理。正如证据不完全决定理论一样，数据也不完全决定现象。在上面的案例中，数据可能与平均距离的 $5/4$ 次方这一周期一致。

可以把这种情形描绘为如表6.1所示：

- 第6层次，由世界中的物体、过程和事件组成。
- 第5层次，由世界中事件引起的感知、观察和心理状态组成。
- 第4层次，由观察经验的表达或陈述组成。
- 第3层次，由观察的表现形式（图、表、计数）组成，并构成数据。
- 第2层次，由模型、经验定律或方程（如 $T=2\pi\sqrt{l/g}$ ）所表现的现象（如“等时运动”或“椭圆轨道”）组成。
- 第1层次，由基本科学定律或高层次理论组成。

表6.1 物体和过程、感知、数据、现象和定律

第1层次	基本定律和机制	地球引力；简谐运动
第2层次	现象、科学模型、理想化	四个单摆定律（质量和摆幅无关定律；周期随摆长的平方根变化；等时摆动）
第3层次	数据	对质量、摆幅、摆长不同的单摆进行单独的周期测量；图表上分散的点
第4层次	命题知觉	表达关于看到事物的不同事实
第5层次	物体知觉	看或观察摆动的摆
第6层次	世界中的对象、事件和过程	在细绳末端摆动的重物

杂乱运动飘落的秋叶“遵守”许多基本的因果机理（引力、空气阻力等等），但其轨迹（数据点）没有说明或证实合适的定律。与南希·卡特赖特的主张相反，我们不能认为物理学基本定律撒了谎。诚然，它们有可能在表观上（上述第3层次及以上层次）撒了谎；但是，如果我们抛弃根深蒂固的、基于亚里士多德学派的信念——这种信念认为定律应该属于第3层次——那么我们就继续保证这些定律的真理属性。它们的真理属性是相对于现象的，而不是相对于数据的。詹姆斯·布朗（James Brown）很好地论述了这一点，他对这方面的分析总结如下：

“现象不同于数据、观察和经验材料。现象相对比较抽象，但具有强烈的视觉特征。现象由数据建构而成，但不是任何建构都能成为现象。现象是我们能描绘的自然物，它们在思想实验中显示出来，并在联系数据和理论的科学推理中具有必不可少的作用。因此我们需要对现象予以关注。”

(Brown 1996, p. 128)

其他特征

在单摆研究的历史中，还能挑选出一些其他的科学特征和哲学主题。例如，关于时间真正意义的争论。任何关于单摆的研究和讨论很快会涉及时间问题：时间是什么？测量时间的最佳方式是什么？在西方，对这类问题至少探究了2,500年，诸如柏拉图、亚里士多德、圣奥古斯丁、阿奎那、牛顿、马赫和爱因斯坦这些思想巨匠们都思考过这些问题。其他文化也有处理时间问题及计算时间的悠久传统。在所有文化中，艺术家、诗人、音乐家、神学家、哲学家、剧作家和科学家都对时间处理做出过贡献。对时间的讨论围绕着日历、宗教与文化仪式、宇宙学和无数的日常琐事（从个人准时乘坐列车到飞机“准时”起飞）展开，而单摆的研究为学生充分理解和学习这些处理时间的传统提供了机会。在这些传统中，科学、哲学、技术和文化紧密地联系在一起³⁴。

在多数其他科学领域——如遗传学、燃烧、原子结构、天文学、演化等历史中也能看到上述主题。在所有这些案例中，与学生讨论这些影响和主题之间的相互作用是大有裨益的。

单摆与美国近代科学教育改革

课程中对单摆的重视程度能很好地表明科学教育中接触及运用HPS的程度。20世纪60年代，PSSC物理课程的主要推动者杰罗尔德·扎卡赖亚斯（Jerrold Zacharias）不重视单摆的教育价值，他对学生说：“它不是很有趣”（Zacharias 1964, p. 69）。他推荐教学从“能产生绝妙现象”的耦合摆开始，然后学生就会想了解单摆，并且“每次都如此”（出处同上）。这种方法在课堂中是否有效？这是一个经验问题。然而如果抛开此

问题，关于单摆学生能学到什么依赖于教师对相关主题丰富历史的了解程度，但证据表明教师对此几乎没有了解。

过去30年间，美国竭尽全力提升学校科学教学水平，关注单摆的运用情况是非常具有教育意义的。各种组织中成千上万的人参与了这些努力改善学校科学教学的计划，例如：美国科学促进会（AAAS），美国国家研究委员会（NRC），美国国家科学院（National Academy of Sciences, NAS），美国国家工程院（National Academy of Engineering, NAE），美国国家科学基金会（NSF），物理学、化学、生物学、地球科学最高学科委员会，以及所有重要的联邦和州属科学教育组织，其中包括美国科学教师协会（NSTA）、美国科学教学研究协会（NARST）。尽管进行了大规模重要的监督，但单摆这一科学话题却几乎没有出现。即使出现，也基本没有发挥其在科学内容、方法论和“科学本质”教学中的潜能。从某种程度上说，这种状况是科学教育和HPS共同体非正常分离造成的，而这种状况并不只存在于美国。

《范围、顺序和融合》

美国科学教师协会（NSTA）广泛且具影响力的课程建议《范围、顺序和融合》（Aldridge 1992）突出强调了单摆的内容。之所以如此，是为了表明它关于科学教学中顺序和融合的主张。然而，在有关单摆的讨论中并没有提到历史、哲学或技术问题。

《2061计划》

1989年，美国科学促进会（AAAS）发表了精彩的报告——《面向全体美国人的科学》（AAAS 1989）。报告承认：“不必要求学校教授越来越多的内容，而是要集中教授培养科学素养必不可少的东西，并更有效地进行教学”（AAAS 1989, p. 4）。该报告认识到学生需要了解“科学的本质”，并把它作为报告第一章的标题。而且，此报告还认识到了了解科学和数学间相互联系的重要性：“科学和数学结合的历史已历经几个世纪……数学是科学的主要语言”（AAAS 1989, p. 34）。此外，该报告也承认应充分了解科学史中的一些事件，因为“它们对我们的文化遗产具有非凡的意义”（AAAS 1989, p. 111）。

在十个事件中，报告挑选了牛顿证明“相同的定律适用于天体和地

球上的运动”(AAAS 1989, p. 113)这一事件。报告对此事件及该事件在科学、哲学和文化三方面的影响进行了充分而又详尽的说明。遗憾的是,报告却未提及促使牛顿实现该统一的事物——单摆。如果提到了单摆,那么这个“大概念”就能与学生经验中可接触的事物联系起来,就能突出数学在科学中的地位,并成为研究科学本质的精彩案例。

《美国国家科学教育标准》

观察美国最近采用的《国家科学教育标准》(NRC 1996),就可从中看出单摆未得到充分重视。同美国国家优质教育委员会(NCEE)在1983年采用通识的科学素养观一样,该《标准》也采用这一科学素养观,即科学素养“包括理解科学本质、科学事业以及科学在社会和个人生活中的作用”(NRC 1996, p. 21)。此《标准》用了两页内容论述单摆(pp. 146-147),然而却没有提及以下这些与单摆相关的主题:研究单摆运动的历史、哲学或文化影响,单摆与计时的联系,经度问题以及傅科摆。

令人惊讶的是,在建议的评价练习中,《标准》不但没有把握机会把长度标准(米)与时间标准(秒)和重量标准联系起来,反而要求学生制作一个在15秒内摆动6次的单摆。这个练习在很大程度上是没有意义的,特别是教师本可以要求学生制作在数秒内摆动的摆,然后测量其摆长,并探究他们的秒摆与米的长度标准的巧合(Matthews 1998)。

令人沮丧的是,参与过此《标准》文件草稿的修订的数万名教师和教育者,哪怕只有几个人掌握了一些关于单摆的历史和哲学知识,就可以改变《标准》对此主题的处理,并鼓励教师通过研究单摆来了解该文件的通识目标。《标准》本来可以为美国学生提供更丰富、更有意义的科学教育。《标准》中没有清楚地表述历史和哲学知识的事实表明:为了使科学教育者更熟悉他们所教学科的历史和哲学,以及为了使科学教育共同体与科学史学家和科学哲学家共同体有更紧密的结合,我们还需要做大量的工作。

《美国实验室报告》

美国国家研究委员会(NRC)进行了大量关于美国学校实验工作的研究,研究结果形成了《美国实验室报告:中学科学调查》(NRC 2006)一书。这本书有236页,共七章,还有几百个参考文献。其中,单摆有三个索引项。在第一个索引项出现的正文中,它说教师简化了单摆的实验,

并忽略了“可能影响其运动的许多变量”，这一点十分令人遗憾(NRC 2006, p. 117)。书中建议教师应认识诸如摩擦力和空气阻力这些“障碍”，但作者接着说：这些障碍“对学生和教师来说是不可抗的”(NRC 2006, p. 118)。这样的处理事实上帮助不大。这本来是一个可以用来表明理想化和抽象对科学研究的重要性很好的机会，而不是一叶障目，不见泰山。理想化和抽象是库恩在讨论单摆时识别的问题，也是达·芬奇面临的问题，同样也是伽利略与其资助者德·蒙特间争论的要点。但《实验室报告》对这个基本的科学程序却只字未提，更不用说为解决它提供一些历史背景了。单摆可以让学生非常形象而又具体地看到“障碍”和“偶然的事”(Koertge 1977)，或者用当代语言说就是“误差”对核心自然进程的影响。

在单摆第二个索引项的正文中，对“典型的单摆实验”进行了批判，因为它被“清理过”，而且仅能用来教授科学内容——摆的周期取决于线长和重力，不能用来教授科学过程的技巧(NRC 2006, p. 126)。在单摆第三个索引项的正文中，与这些“差劲的”单摆实验课相反，它用两页突出显示的方框呈现了一堂“优质的”实验课。在该课中，建议教师首先演示单摆摆动；然后按照严格的方式，让学生绘制周期和质量、周期和摆幅以及周期和摆长的关系图；最后，建议教师讨论得出“从一系列独立变量中得到充分数据”的重要性(NRC 2006, pp. 128-129)。

这些做法确实无害反而有益，但在此却不值得讨论。单摆的丰富历史中，以下都未论及：伽利略、惠更斯、牛顿、胡克、万有引力、计时、时钟、长度标准、经度、地球形状或守恒定律。此外，这本书也未表示科学、技术和社会间的联系，也没有参与到科学传统中。什么都没有！甚至没有告知教师要讲授这些伟大的科学家及他们基于单摆的发现。

遍布全国的固定教学模式要求使用“模式化单摆课程”的师生绘制周期—摆长的曲线图。然而，这个任务并未带来多少有用的结果：曲线图上的分散点仅能确定一个趋势。在完成这个作业后，教师应当继续要求17-18岁的学生绘制周期—摆长平方根图。当完成此图后，学生即可从数据中得到直线，而不是分散的点。如上面讨论的，数学运算揭示物理现象。正如伽利略和惠更斯所见，学生可以看到周期不是恰好随摆长变化，而是随摆长的平方根变化。由数据得到的结论从非结论性的 $T \propto L$

变为结论性的 $T = k\sqrt{L}$ 。该模式化的课程要求教师“避免引入正式的单摆方程式，因为实验室活动不是为了证明这个著名的关系式”（NRC 2006, p. 129）。在日本、韩国、新加坡和许多其他国家，最高年级的中学生都可以理解这个问题，美国学生应得到更优质的课程，而不是没有HPS的通俗的课程。

经过简单的处理，周期一摆长的平方根图表明了数学对物理学的巨大影响；没有平方根这一数学概念，我们只能看到定性的趋势；有了平方根我们看到了精确的定量关系。而且，这种精确的关系使单摆与自由落体联系起来。在自由落体中，下落距离随时间平方变化。所有这些都出现在《实验室报告》中，而且还错失了进行内容更加丰富的单摆物理学教学的机会。NRC在另一本书中认识到的情况似乎已经开始发生了：“作为教育者，我们一直以来低估了孩子在科学方面的能力——目标似乎总是被设置得太低”（NRC 2007, p. vii）。可惜的是，NRC没有接受自己的建议。

《下一代科学教育标准》(NGSS)

NRC给出了三个理由制定美国最新的NGSS，其中之一是有“日益增多的科学学习和教学研究结果”可供利用。科学课程“改革”的历史提示应谨慎对待这种建议。20世纪50年代和60年代，“日益增多的学习和教学研究结果”给我们带来了行为主义和行为目的，但是现在它们已经在教育中消失得无影无踪。20世纪70年代，“日益增多的研究”给我们带来了发现式学习和“做一天科学家”教学。两者即便无害，所发挥的作用也都极小。20世纪80年代和90年代，“日益增多的研究”为我们带来了建构主义，它清扫了大学教育学院过去所有的一切。但更冷静地来看，正如在第八章中将要讲到的，人们已经认识到建构主义主要的哲学缺陷和教育学缺陷。更好地认识教学和学习显然是必须的，但课程的改进不仅源于了解如何更好地教和学，更源于知道教什么和学什么，以及知道在州和国家标准中主题和概念的位置如何。在这一点上，了解关于单摆（以及所有其他主题）的研究并利用历史与哲学能很好地为科学教育做出贡献，进而形成更优质的课程，且有利于课程中各学科间更好地融合。

可以说,单摆符合NGSS备选项中所有的选项。日本、韩国和许多其他国家表明,其实很小的孩子就能够充满乐趣地进行单摆活动并从中获益³⁵。皮亚杰使用单摆来研究孩子科学推理能力的逐步发展并非偶然,特别是孩子识别和控制变量的能力(Bond 2004)。关于单摆活动的严谨性及其与科学中其他领域和主题的联系能够通过学校的进阶得以完善,它能与音乐、数学、技术和工程,甚至化学建立明显的联系(De Berg 2006)。大量的过程技能(收集数据和表征数据,然后提出假说)、方法论技能(提出假说、根据证据评价假说、然后进行理论检验等等)和模型建构能力都能在单摆课堂上得到培养³⁶。

单摆会如何出现在最终的NGSS文件中还要看情况发展,但目前还没有出现好的兆头。在NGSS当前的这一稿(2012)中,单摆共计被提到四次,而每次都与势能转化为动能有关。这种抽象超越了需求,也超越了学生的生活经验,它使单摆在物理学史和社会运用中的角色变得具体化了。此稿中提到了牛顿定律、牛顿的引力理论以及动量守恒,却没有提及单摆,而单摆的运用很容易实现上述学习目标。

结论

本章将单摆作为一个案例引入。在此案例中,HPS甚至能对常规科学教育做出贡献。这就给学生提供了一个在学习“科学知识”的同时,也能学习“关于科学的知识”的机会。通过融入HPS知识的优秀的教学活动,单摆运动案例能使学生会从亚里士多德科学特有的常识和经验描述到科学革命特有的抽象、理想化和数学描述这一转变。单摆提供了一种易处理、可理解和直接走入科学思维、远离日常经验思维的方式。同时,单摆还表明科学的、理想化的思维是如何通过对照实验与世界相联系的。

正如这里建议的,科学“情境”教学不是要避开严肃或难懂的科学。恰恰相反,它需要尽力去理解科学史中发生的事情。而这种教学对学生也是极具吸引力的。一些毕业后并未继续学习科学的优秀学生常常这样讲:“科学太乏味,我们总是在做题³⁷。”人类努力认识单摆运动的历史一点也不乏味,它充斥着伟大的思想,他们的争论引人入胜,这段历史提供了复杂科学理论发展的故事情节。接受情境教学的学生不仅提升了对

科学的理解，而且能更好地理解科学本质，还能在忘记单摆周期方程很长时间之后记起某些重要的东西。

下图（图 6.13）展示了历史和哲学融合的课程方式，在图中，列代表课程的学科名称，圆圈代表学科内的主题³⁸。

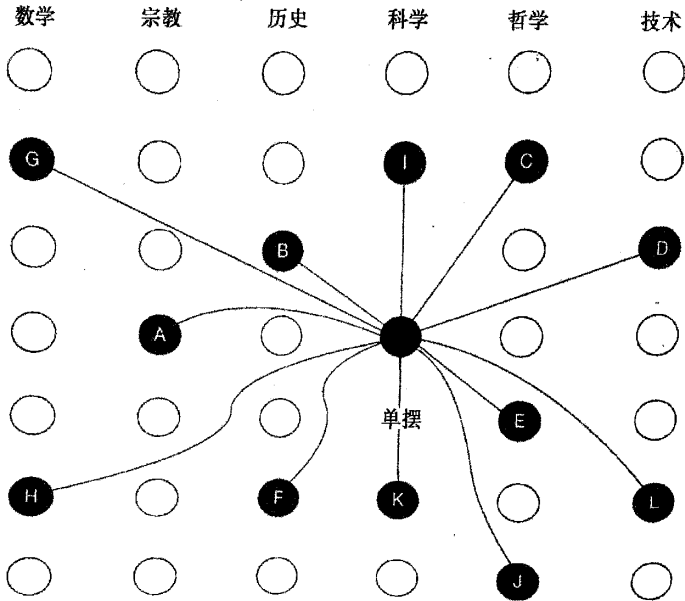


图 6.13 融入HPS知识的课程联系。A：设计论证； B：欧洲航海的发现； C：亚里士多德的物理学和方法论； D：摆钟； E：理想化和理论验证； F：计时和社会管理； G：圆的几何学； H：应用数学； I：测量和标准； J：时间； K：能量； L：大地测量学

一个教学日或至少一个教学年的内容应当更像一个挂毯，而不是彼此没有连在一起的珠帘。后者是很多文件中都提及的美国科学教育存在的问题（即所谓的“一英里宽一英寸深”，只重视广度不重视深度的课程）（Kesidou & Roseman 2002）。然而，如果从历史和哲学的视角来进行单摆运动的教学，那么它就能与宗教、历史、数学、哲学、音乐和文学中的主题建立联系，也能与科学教育中的其他主题建立联系。这种教学有助于对科学、科学方法论以及科学对社会和文化的贡献产生更好的理解。然而，课程编写者和负责课程或实现目标的教师首先要认识到这种联系。这也就提出HPS在职前（或在职）教师培训中存在的问题，这些问题将在不同章节中进行讨论。

注释

1. 本章受益于马修斯 (Matthews) (2000, 2001, 2014) 发表的研究成果。
2. 请参见第3章对PSS物理学在哲学和国际影响方面的阐述。
3. 有关中世纪摆的历史研究并不充分, 但请参见Büttner (2008)和Hall (1978)。
4. 请参见: Büttner (2008)、Lefèvre (2001)、Machamer (1998)以及Renn (2001)的论文。
5. 在伽利略之前有先驱者。中世纪的自然哲学家——约翰·布里丹 (John Buridan)、尼科尔·奥雷姆 (Nicole Oresme)、托马斯·布雷德沃丁 (Thomas Bradwardine) 及其默顿学院的同事和其他使用数学的人, 但是数学和他们的物理学 (自然哲学) 之间的联系不像数学和伽利略之间的联系那样紧密。请参见Clagett (1959)和Moody (1975)。
6. 在与摆相关的科学历史中, 这是一个反复出现的主题。其中可看到许多不同的力学、生物学和化学过程都使用了针对简谐运动的数学公式。
7. 柯尔特格 (Koertge) (1977)和麦克马林 (McMullin) (1985)讨论了伽利略的物理学及其重要的理想化特征。
8. 内勒 (Naylor) (1980, pp. 367-371)和汉弗莱斯 (Humphreys 1967, pp. 232-234)在伽利略研究下落定律的情境中讨论了这封信。
9. 在怀特 (White) (1966, p. 109)的文章中能找相关讨论和参考文献。
10. 许多人对心理学的数学化和现代认知科学的“盒子与箭头”也做出了相同的反应。
11. “生活经验”和科学概念的分离对惯性定律的教学 (第5章讨论过的主题)影响尤其大。
12. 中世纪亚里士多德学派的上述问题同样适用于当代的“发现”、“探究”或“最少指导”教学; 没有指导或教学就没有学习。
13. 马修斯 (2001)详细说明了此事件。
14. 在Alder (1995, 2002)和库拉Kula (1986, Chapter 21-23)中能找到有关长度标准“米”的发展的阐述。
15. 关于对地球形状争论的历史, 请参见Chapin (1994)。
16. 请参见Martins (1993)。
17. 关于摆在统一中的作用, 请特别参见Boulos (2006)。
18. 马修斯 (2000, Chapter 6, 7)讲述了这方面的历史。
19. Maurice Finocchiaro (1980, p. 149)把伽利略的《两大世界体系的对话》(1633/1953)中发现的14个哲学主题概括成一个表。
20. 佩利坎 (Pelikan)对同一问题提供了文献丰富的历史研究 (Pelikan 1985)。
21. 关于这些计算的物理学和教学, 请参见Holton和Brush (2001, pp. 128-129)。
22. 这是科学史中的精彩插曲。可以把它写成极好的故事甚至戏剧, 故事包含以下各种要素: 有权势和有声望的人物、“无名”的局外人、对重大问题的争论、数学和严谨的计算、宗教以及最终决策的制定——用大量的机会维持现状。然而, 令人遗憾的是很少有人知道这件事, 也几乎从未有人教授过它。
23. 费恩斯坦详尽地说明了个人立场, 他写道: 我坚决认为了解地球形状是博学的一种表现 (确实是卓越的表现), 而且能让我们获得快乐和满足, 但并不是所有的学生都会认识到这一点的用处所在 (Feinstein 2011, p. 183)。
24. 关于这个重要概念的发展, 请参见Moody (1975, p. 403)。
25. 最近几十年, 哲学家又转向对康德哲学科学实验的高度评价, 并就这个主题撰写了富有启发性的著作。至少请参见: Hacking (1988)、Radder (2003)和Gooding *et al.* (1989)的文章。
26. Nowak (1980)广泛研究了科学理想化的逻辑。另外, 请参见Laymon (1985)和Portides (2007)。
27. 在Popper (1972, Chapter 3, 4)、Althusser 和 Balibar (1970)、Baltas (1988, 1990)、Chalmers (1976/2013)、Mittelstrass (1972)、Sneed (1979)和Suchting (1986)中, 对这种

客观主义认识论有明确的表述。

28. 请参见 Irzik (1995) 和 Musgrave (1974)。
29. 请特别参见 Hodson (1986) 和 Norris (1985)。
30. 有关此传统, 请参见 Yolton (2000)。
31. 汉森回应了柏拉图, 他写道: “看到的多于眼球遇到的”(Hanson 1958)。有关 20 世纪知觉哲学的大量读物, 请参见 Swartz (1965)。
32. 有关科学数据和科学现象之间区别的详细发展, 请参考: James Bogen 和 James Woodward (1988)、James Woodward (1989)、Ronald Laymon (1982, 1984) 以及 James Brown (1996)。关于从数据和现象的区别来解释伽利略的工作, 请参见 Hemmendinger (1984)。概念化颇能阐明教育研究中持久不变的问题, 但它很少被这样运用。请参见 Brian Haig (2014, Chapter 2) 和 Matthews (2004) 的讨论。
33. 对于牛顿著作中“现象”意义的分析, 请参见 Achinstein (1990)。
34. 至少请参见: Barnett (1998)、Landes (1983)、Turetzky (1998) 和 van Rossum (1996)。
35. 为日本小学生制作的有关单摆的一本小册子非常精美, 其中伽利略和惠更斯的照片占据了整个封面——这很好地说明了科学的普遍性及其与故乡欧洲之外的文化相融合的能力。
36. 关于把摆的探究用作课堂上物理教学、科学推理技能培养和评价的一种方式, 至少请参见: Kanari 和 Millar (2004)、Kwon *et al.* (2006)、Stafford (2004)、Zachos (2004) 以及 Gauld (2004) 中的 100 多篇参考文献。
37. 若干年前一再发生的事情是: 澳大利亚科学研究主任向学校报告, 科学成绩前 10% 的学生大多数都没有选择第三期与科学有关的专业。
38. 直接表示此论证的思想来源于杰拉尔德·霍尔顿 (Gerald Holton) 在美国科学促进会的演讲, 该演讲随后以 Holton (1995) 为署名发表。

参考文献

- AAAS (American Association for the Advancement of Science): 1989, *Project 2061: Science for All Americans*, AAAS, Washington, DC. Also published by Oxford University Press, 1990.
- Achinstein, P.: 1990, 'Newton's Corpuscular Query and Experimental Philosophy'. In P. Bricker and R.I.G. Hughes (eds) *Philosophical Perspectives on Newtonian Science*, MIT Press, Cambridge, MA, pp. 135-173.
- Acel, A.D.: 2003, *Pendulum: Léon Foucault and the Triumph of Science*, Atria Books, New York.
- Acel, A.D.: 2004, 'Leon Foucault: His Life, Times and Achievements', *Science & Education* 13(7-8), 675-687.
- Alder, K.: 1995, 'A Revolution to Measure: The Political Economy of the Metric System in France'. In M.N. Wise (ed.) *The Values of Precision*, Princeton University Press, Princeton, NJ, pp. 39-71.
- Alder, K.: 2002, *The Measure of All Things: The Seven-Year Odyssey that Transformed the World*, Little Brown, London.
- Aldridge, B.G.: 1992, 'Project on Scope, Sequence, and Coordination: A New Synthesis for Improving Science Education', *Journal of Science Education and Technology* 1(1), 13-21.
- Althusser, L. and Balibar, E.: 1970, *Reading Capital*, New Left Books, London.
- Ariotti, P.E.: 1968, 'Galileo on the Isochrony of the Pendulum', *Isis* 59, 414-426.
- Austin, J.L.: 1961, *Philosophical Papers*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Ayer, A.J.: 1955, *The Foundations of Empirical Knowledge*, Macmillan, London.
- Ayer, A.J.: 1956, *The Problem of Knowledge*, Penguin, Harmondsworth, UK.
- Baltas, A.: 1988, 'On the Structure of Physics as a Science'. In D. Batens and J.P. van Bendegens (eds) *Theory and Experiment*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands, pp. 207-225.
- Baltas, A.: 1990, 'Once Again on the Meaning of Physical Concepts'. In P. Nicolacopoulos (ed.) *Greek Studies in the*

- Philosophy and History of Science*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 293-313.
- Barnett, J.E.: 1998, *Time's Pendulum: From Sundials to Atomic Clocks, the Fascinating History of Timekeeping and How Our Discoveries Changed the World*, Harcourt Brace, New York.
- Bedini, S.A.: 1986, 'Galileo and Scientific Instrumentation'. In W.A. Wallace (ed.) *Reinterpreting Galileo*, Catholic University of America Press, Washington, DC, pp. 127-154.
- Bedini, S.A.: 1991, *The Pulse of Time: Galileo Galilei, the Determination of Longitude, and the Pendulum Clock*, Olschki, Florence, Italy.
- Bensky, T.J.: 2010, 'The Longitude Problem From the 1700s to Today: An International and General Education Physics Course', *American Journal of Physics* 78(1), 40-46.
- Bogen, J. and Woodward, J.: 1988, 'Saving the Phenomena', *The Philosophical Review* XCVII(3), 303-350.
- Bond, T.G.: 2004, 'Piaget and the Pendulum', *Science & Education* 13(4-5), 389-399.
- Boulos, P.J.: 2006, 'Newton's Path to Universal Gravitation: The Role of the Pendulum', *Science & Education* 15(6), 577-595.
- Brown, J.R.: 1996, 'Phenomena'. In R.S. Cohen, R. Hilpinen and Q. Renzong (eds) *Realism and Anti-Realism in the Philosophy of Science*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 117-129.
- Butterfield, H.: 1949/1957, *The Origins of Modern Science 1300-1800*, G. Bell, London.
- Büttner, J.: 2008, 'The Pendulum as a Challenging Object in Early-Modern Mechanics'. In W.R. Laird and S. Roux (eds) *Mechanics and Natural Philosophy before the Scientific Revolution*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 223-237.
- Cantor, G.: 1991, *Michael Faraday: Sandemanian and Scientist*, St. Martin's Press, New York.
- Cartwright, N.: 1983, *How the Laws of Physics Lie*, Clarendon Press, Oxford, UK.
- Chalmers, A.F.: 1976/2013, *What Is This Thing Called Science?* 4th edn, University of Queensland Press, St Lucia.
- Chapin, S.L.: 1994, 'Geodesy'. In I. Grattan-Guinness (ed.) *Companion Encyclopedia of the History and Philosophy of the Mathematical Sciences*, Routledge, London, pp. 1089-1100.
- Clagett, M.: 1959, *The Science of Mechanics in the Middle Ages*, University of Wisconsin Press, Madison, WI.
- De Berg, K.C.: 2006, 'Chemistry and the Pendulum: What Have They To Do With Each Other?', *Science & Education* 15(6), 619-641.
- Drabkin, I.E.: 1938, 'Notes on the Laws of Motion in Aristotle', *American Journal of Philology* 59, 60-84.
- Drake, S.: 1978, *Galileo at Work*, University of Chicago Press, Chicago, IL. Reprinted Dover Publications, New York, 1996.
- Drake, S.: 1990, 'The Laws of Pendulum and Fall'. In his *Galileo: Pioneer Scientist*, University of Toronto Press, Toronto, pp. 9-31.
- Dugas, R.: 1988, *A History of Mechanics*, Dover, New York (originally published 1955).
- Falomo, L., Albanesi, G. and Bevilacqua, F.: 2014, 'Museum Heroes All: The Pavia Approach to School-Science Museum Interactions', *Science & Education* 23(4), 761-780.
- Fantoli, A.: 1994, *Galileo: For Copernicanism and for the Church* (trans. G.V. Coyne), Vatican Observatory Publications, Vatican City (distributed by University of Notre Dame Press).
- Feinstein, N.: 2011, 'Salvaging Science Literacy', *Science Education* 95, 168-185.
- Finocchiaro, M.A.: 1980, *Galileo and the Art of Reasoning*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Fleck, L.: 1935/1979, *Genesis and Development of a Scientific Fact*, T.J. Trewn and R.K. Merton (eds), University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Frank, P.: 1947/1949, 'The Place of Philosophy of Science in the Curriculum of the Physics Student', *American Journal of Physics* 15 (3), 202-218. Reprinted in his *Modern Science and Philosophy*, Harvard University Press, Harvard, MA, pp. 228-259.
- Galileo, G.: 1590/1960, 'De Motu'. In I.E. Drabkin and S. Drake (eds) *Galileo Galilei On Motion and On Mechanics*, University of Wisconsin Press, Madison, WI, pp. 13-114.

- Galileo, G.: 1602/1978, 'Letter to Guidobaldo del Monte'. In S. Drake *Galileo at Work: His Scientific Biography*, Dover Publications, Mineola, NY, pp. 69-71.
- Galileo, G.: 1633/1953, *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems* (trans. S. Drake), University of California Press, Berkeley, CA (2nd revised edition, 1967).
- Galileo, G.: 1638/1954, *Dialogues Concerning Two New Sciences* (trans. H. Crew and A. de Salvio), Dover Publications, New York (originally published 1914).
- Gauld, C.F.: 1998, 'Solutions to the Problem of Impact in the 17th and 18th Centuries and Teaching Newton's Third Law Today', *Science & Education* 7(1), 49-67.
- Gauld, C.F.: 2004, 'Pendulums in Physics Education Literature: A Bibliography', *Science & Education* 13(7-8), 811-832.
- Gauld, C.F.: 2006, 'Newton's Cradle in Physics Education', *Science & Education* 15(6), 597-617.
- Giere, R.N.: 1988, *Explaining Science: A Cognitive Approach*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Giere, R.N.: 1999, *Science Without Laws*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Gooding, D., Pinch, T. and Schaffer, S. (eds): 1989, *The Uses of Experiment*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Guadagni, C.A.: 1764, *Specimen Experimentorum Naturalium*, Carotti, Pisa, Italy.
- Hacking, I.: 1988, 'Philosophers of Experiment'. In A. Fine and J. Leplin (eds) *PSA* 2, 147-156.
- Haig, B.D.: 2014, *Investigating the Psychological World: Scientific Method in the Behavioral Sciences*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Hall, B.S.: 1978, 'The Scholastic Pendulum', *Annals of Science* 35, 441-462.
- Hanson, N.R.: 1958, *Patterns of Discovery*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Hanson, N.R.: 1959, 'Broad and the Laws of Dynamics'. In P.A. Schilpp (ed.) *The Philosophy of C.D. Broad*, Tudor Publishing Company, New York, pp. 281-312.
- Hemmendinger, D.: 1984, 'Galileo and the Phenomena: On Making the Evidence Visible'. In R.S. Cohen and M.W. Wartofsky (eds) *Physical Sciences and the History of Physics*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands, pp. 115-143.
- Herivel, J.: 1965, *The Background to Newton's 'Principia'*, Clarendon Press, Oxford, UK.
- Hodson, D.: 1986, 'Rethinking the Role and Status of Observation in Science Education', *Journal of Curriculum Studies* 18(4), 381-396.
- Holton, G.: 1995, 'How Can Science Courses Use the History of Science?' In his *Einstein, History and Other Passions*, American Institute of Physics, Woodbury, NY, pp. 257-264.
- Holton, G. and Brush, S.G.: 2001, *Physics, the Human Adventure. From Copernicus to Einstein and Beyond*, Rutgers University Press, New Brunswick, NJ.
- Hume, D.: 1739/1888, *A Treatise of Human Nature: Being an Attempt to Introduce the Experimental Method of Reasoning into Moral Subjects*, Clarendon Press, Oxford, UK.
- Humphreys, W.C.: 1967, 'Galileo, Falling Bodies and Inclined Planes: An Attempt at Reconstructing Galileo's Discovery of the Law of Squares', *British Journal for the History of Science* 3(11), 225-244.
- Huygens, C.: 1673/1986, *Horologium Oscillatorium. The Pendulum Clock or Geometrical Demonstrations Concerning the Motion of Pendula as Applied to Clocks* (trans. R.J. Blackwell), Iowa State University Press, Ames, IA.
- Irzik, G.: 1995, 'Popper's Epistemology and World Three'. In I. Kuçuradi and R.S. Cohen (eds) *The Concept of Knowledge: The Ankara Seminar*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 83-95.
- Kanari, Z. and Millar, R.: 2004, 'Reasoning From Data: How Students Collect and Interpret Data in Science Investigations', *Journal of Research in Science Teaching* 41(7), 748-769.
- Kant, I.: 1787/1933, *Critique of Pure Reason*, 2nd edn (trans. N.K. Smith), Macmillan, London (1st edition, 1781).

- Kesidou, S. and Roseman, J.E.: 2002, 'How Well Do Middle School Science Programs Measure Up? Findings from Project 2061's Curriculum Review', *Journal of Research in Science Teaching* 39(6), 522-549.
- Koertge, N.: 1977, 'Galileo and the Problem of Accidents', *Journal of the History of Ideas* 38, 389-409.
- Koyré, A.: 1957, *From the Closed World to the Infinite Universe*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- Koyré, A.: 1968, *Metaphysics and Measurement*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Kuhn, T.S.: 1970, *The Structure of Scientific Revolutions*, 2nd edn, Chicago University Press, Chicago, IL (1st edition, 1962).
- Kula, W.: 1986, *Measures and Man*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Kwon, Y.-J., Jeong, J.-S. and Park, Y.-B.: 2006, 'Roles of Abductive Reasoning and Prior Belief in Children's Generation of Hypotheses about Pendulum Motion', *Science & Education* 15(6), 643-656.
- Lakatos, I.: 1970, 'Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes'. In I. Lakatos and A. Musgrave (eds) *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 91-196.
- Landes, D.S.: 1983, *Revolution in Time. Clocks and the Making of the Modern World*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Laymon, R.: 1982, 'Scientific Realism and the Hierarchical Counterfactual Path from Data to Theory'. In P.D. Asquith and T. Nickles (eds) *PSA*, pp. 107-121.
- Laymon, R.: 1984, 'The Path from Data to Theory'. In J. Leplin (ed.) *Scientific Realism*, University of California Press, Berkeley, CA, pp. 108-123.
- Laymon, R.: 1985, 'Idealizations and the Testing of Theories by Experimentation'. In P. Achinstein and O. Hannaway (eds) *Observation, Experiment, and Hypothesis in Modern Physical Science*, MIT Press, Cambridge, MA, pp. 147-173.
- Lederman, N., Abd-el-Khalick, F., Bell, R.L. and Schwartz, R.S.: 2002, 'Views of Nature of Science Questionnaire: Towards Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of the Nature of Science', *Journal of Research in Science Teaching* 39, 497-521.
- Lefèvre, W.: 2001, 'Galileo Engineer: Art and Modern Science'. In J. Renn (ed.) *Galileo in Context*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 11-24.
- Lennox, J.G.: 1986, 'Aristotle, Galileo, and the "Mixed Sciences"'. In W.A. Wallace (ed.) *Reinterpreting Galileo*, Catholic University of America Press, Washington, DC, pp. 29-51.
- Machamer, P.: 1998, 'Galileo's Machines, His Mathematics, and His Experiments'. In P. Machamer (ed.) *The Cambridge Companion to Galileo*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 53-79.
- Martins, R. de A.: 1993, 'Huygens's Reaction to Newton's Gravitational Theory'. In J.V. Field and F.A.J.L. James (eds) *Renaissance and Revolution: Humanists, Scholars, Craftsmen and Natural Philosophers in Early Modern Europe*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 203-214.
- Matthews, M.R.: 1998, 'Opportunities Lost: The Pendulum in the USA National Science Education Standards', *Journal of Science Education and Technology* 7(3), 203-214.
- Matthews, M.R.: 2000, *Time for Science Education: How Teaching the History and Philosophy of Pendulum Motion can Contribute to Science Literacy*, Kluwer Academic Publishers, New York.
- Matthews, M.R.: 2001, 'Methodology and Politics in Science: The Case of Huygens' 1673 Proposal of the Seconds Pendulum as an International Standard of Length and Some Educational Suggestions', *Science & Education* 10(1-2), 119-135.
- Matthews, M.R.: 2004, 'Data, Phenomena and Theory: How Clarifying the Distinction can Illuminate the Nature of Science'. In K. Alston (ed.) *Philosophy of Education 2003*, US Philosophy of Education Society, Champaign, IL, pp. 283-292.
- Matthews, M.R.: 2014, 'Pendulum Motion: A Case Study in How History and Philosophy can Contribute to Science Education'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and*

- Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 19-56.
- McMullin, E.: 1985, 'Galilean Idealization', *Studies in the History and Philosophy of Science* 16, 347-373.
- Meli, D.B.: 2006, *Thinking with Objects: The Transformation of Mechanics in the Seventeenth Century*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- Mittelstrass, J.: 1972, 'The Galilean Revolution: The Historical Fate of a Methodological Insight', *Studies in the History and Philosophy of Science* 2, 297-328.
- Monte, G. del: 1581/1969, 'Mechaniche'. In S. Drake and I.E. Drabkin (eds) *Mechanics in Sixteenth-Century Italy*, University of Wisconsin Press, Madison, WI, pp. 241-329.
- Moody, E.A.: 1975, *Studies in Medieval Philosophy, Science and Logic*, University of California Press, Berkeley, CA.
- Musgrave, A.: 1974, 'The Objectivism of Popper's Epistemology'. In P.A. Schilpp (ed.) *The Philosophy of Karl Popper*, Open Court Publishing, LaSalle, IL, pp. 560-596.
- Naylor, R.H.: 1974, 'Galileo's Simple Pendulum', *Physis* 16, 23-46.
- Naylor, R.H.: 1980, 'The Role of Experiment in Galileo's Early Work on the Law of Fall', *Annals of Science* 37, 363-378.
- Naylor, R.H.: 1989, 'Galileo's Experimental Discourse', in D. Gooding, T. Pinch and S. Schaffer (eds) *The Uses of Experiment*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 117-134.
- Newton, I.: 1729/1934, *Mathematical Principles of Mathematical Philosophy* (trans. A. Motte, revised F. Cajori), University of California Press, Berkeley, CA.
- Norris, S.P.: 1985, 'The Philosophical Basis of Observation in Science and Science Education', *Journal of Research in Science Teaching* 22(9), 817-833.
- Nowak, L.: 1980, *The Structure of Idealization*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- NRC (National Research Council): 1996, *National Science Education Standards*, National Academies Press, Washington, DC.
- NRC (National Research Council): 2006, *America's Lab Report: Investigations in High School Science*, National Academies Press, Washington, DC.
- NRC (National Research Council): 2007, *Taking Science to School. Learning and Teaching Science in Grades K-8*, National Academies Press, Washington, DC.
- Olmsted, J.W.: 1942, 'The Scientific Expedition of Jean Richer to Cayenne (1672—1673)', *Isis* 34, 117-128.
- Pelikan, J.: 1985, *Jesus Through the Centuries: His Place in the History of Culture*, Yale University Press, New Haven, CT.
- Pogo, A.: 1935, 'Gemma Frisius, His Method of Determining Differences of Longitude by Transporting Time-Pieces (1530) and His Treatise on Triangulation (1533)', *Isis* 22(64), 469-485.
- Popper, K.R.: 1934/1959, *The Logic of Scientific Discovery*, Hutchinson, London.
- Popper, K.R.: 1972, *Objective Knowledge*, Clarendon Press, Oxford, UK.
- Portides, D.: 2007, 'The Relation Between Idealisation and Approximation in Scientific Model Construction', *Science & Education* 16(7-8), 699-724.
- PSSC (Physical Science Study Committee): 1960, *Physics*, D.C. Heath, Boston, MA.
- Quine, W.V.O.: 1953, *From a Logical Point of View*, Harper & Row, New York.
- Radder, H. (ed.): 2003, *The Philosophy of Scientific Experimentation*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, PA.
- Renn, J. (ed.): 2001, *Galileo in Context*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Roth, M.-W. and Roychoudhury, A.: 1994, 'Physics Students' Epistemologies and Views about Knowing and Learning', *Journal of Research in Science Teaching* 31(1), 5-30.
- Schweitzer, A.: 1910/1954, *The Quest of the Historical Jesus: A Critical Study of its Progress from Reimarus to Wrede*, 3rd edn, Adam and Charles Black, London.
- Scriven, M.: 1961, 'The Key Property of Physical Laws - Inaccuracy'. In H. Feigl and G. Maxwell (eds) *Current Issues in the Philosophy of Science*, Holt, Rinehart & Winston, New York, pp. 91-101.

- Sneed, J.D.: 1979, *The Logical Structure of Mathematical Physics*, 2nd edn, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Sobel, D.: 1995, *Longitude: The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time*, Walker Publishing Company, New York.
- Stafford, E.: 2004, 'What the Pendulum can Tell Educators About Children's Scientific Reasoning', *Science & Education* 13(7-8), 757-790.
- Suchting, W.A.: 1986, 'Marx and "the Problem of Knowledge"'. In his *Marx and Philosophy*, Macmillan, London, pp. 1-52.
- Suchting, W.A.: 1995, 'The Nature of Scientific Thought', *Science & Education* 4(1), 1-22.
- Sumida, M.: 2004, 'The Reproduction of Scientific Understanding About Pendulum Motion in the Public', *Science & Education* 13(4-5), 473-492.
- Swartz, R.J. (ed.): 1965, *Perceiving, Sensing and Knowing*, Doubleday, New York.
- Tobin, K. (ed.): 1993, *The Practice of Constructivism in Science and Mathematics Education*, AAAS Press, Washington, DC.
- Tobin, W.: 2003, *The Life and Science of Léon Foucault: The Man Who Proved the Earth Rotates*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Turetzky, P.: 1998, *Time*, Routledge, London.
- van Rossum, G.D.: 1996, *History of the Hour: Clocks and Modern Temporal Orders*, Chicago University Press, Chicago, IL.
- Westfall, R.S.: 1980, *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Westfall, R.S.: 1990, 'Making a World of Precision: Newton and the Construction of a Quantitative Physics'. In F. Durham and R.D. Purrington (eds) *Some Truer Method. Reflections on the Heritage of Newton*, Columbia University Press, New York, pp. 59-87.
- White, L.: 1966, 'Pumps and Pendula: Galileo and Technology'. In C.L. Golino (ed.) *Galileo Reappraised*, University of California Press, Berkeley, CA, pp. 96-110.
- Wise, M.N. (ed.): 1995, *The Values of Precision*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Wittgenstein, L.: 1958, *Philosophical Investigations*, Basil Blackwell, Oxford, UK.
- Wolf, F.A.: 1981, *Taking the Quantum Leap*, Harper & Row, New York.
- Woodward, J.: 1989, 'Data and Phenomena', *Synthese* 79, 393-472.
- Yoder, J.G.: 1988, *Unrolling Time: Christiaan Huygens and the Mathematization of Nature*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Yolton, J.W.: 2000, *Realism and Appearances: An Essay in Ontology*, Cambridge, Cambridge University Press, UK.
- Zacharias, J.R.: 1964, 'Curriculum Reform in the USA'. In S.C. Brown, N. Clarke and J. Tiomno (eds) *Why Teach Physics: International Conference on Physics in General Education*, MIT Press, Cambridge, MA, pp. 66-70.
- Zachos, P.: 2004, 'Pendulum Phenomena and the Assessment of Scientific Inquiry Capabilities', *Science & Education* 13(7-8), 743-756.

科学课堂中的历史与哲学

——约瑟夫·普里斯特利与光合作用的发现¹

出于以下三个重要的社会和教育因素考虑，我们认为在学校科学教育中纳入约瑟夫·普里斯特利（Joseph Priestley）是正确的：

- 第一，要求学校认真对待紧急的环境问题，特别是“优质的空气”（套用普里斯特利的说法）。因此学校需要教授光合作用过程方面的知识，而普里斯特利对光合作用的过程有很多早期理解。
- 第二，很多国际课程都包含科学的本质（Nature of Science, NOS）这一目标，而普里斯特利的文章和实践很好地阐明了NOS的许多基本特征。
- 第三，伴随着对欧洲启蒙运动传统的重新评估和审视，特别是对普遍主义、自然主义和非宗教信仰的重新评估和审视，引起了人们对教育和文化的普遍关注。迈克尔·彼得斯（Michael Peters）很早就援引过，并很好地捕捉到这种普遍的关注（Peters 1995, pp. 327-328）。普里斯特利的生平与成就为评价早期启蒙运动的主张和成就提供了很好的案例。

普里斯特利对上述三个领域均做出了重要的贡献。令人高兴的是，他的作品简洁动人，心系“公众”；他的写作方式让读者感觉仿佛身临其境，正在观察作者进行实验。他被推崇为倡导“科学为大众”的第一人。因此，将历史和哲学维度纳入标准课程主题，不仅能使学生学到科学内容，而且也能学到科学相关知识及为科学史做出重大贡献的人等重要内容，进而更好地理解科学的本质。

光合作用是地球上生命的基本过程。许多生物学家将光合作用列为最重要的自然过程；同样，长期以来，学校生物学课程也将光合作用列为核心内容。然而，众所周知，不管什么水平的孩子，在领会和理解光合作用时，都会遇到很大困难：学生对该过程概念的理解总是达不到年级要求的水平和所学课程的预期²。鉴于当前大力宣传关注空气质量、碳排放贸易、CO₂排放、温室气体、森林保护等方面的环境问题，弥补学

生和一般公众对这一基本自然过程认识的不足，就显得更为迫切。

这部分的科学与两个基本的、互补的过程有着紧密联系，即光合作用³和呼吸作用。

光合作用： $\text{二氧化碳} + \text{水} + \text{能量（光）} \rightarrow \text{有机化合物（淀粉）} + \text{氧气}$

呼吸作用： $\text{有机化合物} + \text{氧气} \rightarrow \text{二氧化碳} + \text{水} + \text{能量}$

第一个过程体现了“碳捕获”和空气恢复的过程；在挖掘地下煤层、砍伐和焚烧森林时，大量的碳通过第二个过程释放出来。这两个过程是地球“碳循环”的主要部分。显然，对学生来说了解这些过程以及更为广泛的社会、经济、文化和伦理范畴及相关影响是非常重要的。这是有责任感的公民的分内之事。此外，学习这些基本过程是如何被发现和理解的也具有重大意义，这样的学习使人们能够充分理解和认识科学的本质与科学事业。

正如在第二章中提到的，普里斯特利是18世纪最重要的科学家（自然哲学家）之一，终生是一位虔诚的基督教牧师，也是启蒙运动原理的积极倡导者。他特别提倡：把新牛顿学派科学的方法论运用于所有的研究领域——历史的、神学的、教育的和伦理的领域；政教分离；言论自由；宗教自由；宗教信仰和实践的合法化；科学（包括对宗教经典的历史研究）免受政治和宗教控制的自由。与洛克（Locke）、康德（Kant）、卢梭（Rousseau）和所有启蒙运动人物一样，他一直提倡教育，确切地说，提倡现在所说的“科学教育”⁴。因此，光合作用的教学要从历史和哲学维度关注普里斯特利的生平和工作，这样，当前存在的上述每一个教育问题都能够得到有效的处理。

对普里斯特利的一些评价

现代人们对普里斯特利的认识变得扭曲，这归因于托马斯·库恩（Thomas Kuhn）在其畅销著作《科学革命的结构》（Kuhn 1970）中所做的荒谬且有失公正的评判。一个非常有名的段落是库恩提到范式的非理性变化——旧范式只有在“最终只剩下几个老顽固”时才会逐渐消失。然后他单独提到普里斯特利，认为“他是全部同行都转变后，仍然继续抵抗”的典型，还说这种人“事实上已经不能称为科学家了”（Kuhn 1970, p. 159）。这种离谱的指责“抹黑”了普里斯特利在学术界的声誉。库恩

对普里斯特利的评判，——一位顽固的老人，坚信奇特的燃素物质，对抗拉瓦锡化学的“黎明曙光”已成为大众广为接受的讣告。令人欣慰的是，一些历史学家和哲学家进行了广泛研究来反驳库恩对普里斯特利的讽刺，但不幸的是，他们的著作既没有被翻译成二十多种语言，也没有成为无数课程中的课堂读物，更没有被大众所熟悉。

弗里德里克·哈里森（Frederic Harrison）在为19世纪普里斯特利《科学通信》所写的引言中，给了如下更宽容和更准确的评价：

“如果我们选择一个人作为18世纪知识分子的代表，我们几乎不能找到比约瑟夫·普里斯特利更好的人选。尽管他不是那个世纪最伟大的智者，但他的多才多艺、热心、活力和仁慈，他对所有事物（自然的、道德的或社会的）的好奇心，他在科学、神学和政治学中的地位，他与革命的独特关系，以及关于他本不应遭受的苦难的悲惨故事，都可以使他成为18世纪的英雄。”

（Bolton 1892, Introduction）

普里斯特利的生平

现存大量作品都描述过普里斯特利的生平和成就，教师可以利用它们来详细阐释当下的课程⁵。普里斯特利于1733年出生在英国约克郡，1804年2月6日在美国宾夕法尼亚州边远林区与世隔绝的诺森伯兰（Northumberland）小镇去世。尽管历史学界和化学界都曾纪念普里斯特利逝世200周年，可惜教育界却没有举行纪念活动。这是一个遗憾，因为普里斯特利不仅是一位具有奉献精神的教育家和教师，也许还是第一位现代科学教师。除了教学、宣讲和研究外，普里斯特利还撰写了大量有影响力、有关教育理论和教育实践的著作。

普里斯特利从小受严格繁琐的加尔文主义教育⁶。在青年时期，作为一名宗教反对者，他被牛津大学和剑桥大学拒之门外，最终进入达文特里学院（Daventry Academy）。在那里，他年纪轻轻就阅读了洛克、牛顿、哈特利（Hartley）的著作和当时许多重要的哲学、科学、宗教著作。在达文特里学院，“认真追求真理”是最重要的事（Priestley 1806/1970, p. 75）⁷，这显然与国立大学的学术氛围完全不同⁸。他精通希腊语、拉丁语、

古叙利亚语和许多欧洲语言，包括后来的高地德语。

22岁那年，他接受委任，成为一名不信奉宗教的牧师，他的整个成年生活都奉献于这一圣职的职业。他在许多村镇担任牧师，并在这些村镇创办学校。他可能是第一个鼓励学生进行实验室工作的科学教师（Schofield 1997, p. 79）。快到30岁时，他在沃灵顿学院（Warrington Academy）教授语言、历史、逻辑和文学，在那里，他开始阅读当时的化学和电学著作，这些著作对他以前阅读的牛顿的光学和天文学著作进行了补充。

34岁时，他受邀担任利兹（Leeds）长老会教堂（Presbyterian Chapel）的牧师，利兹是约克郡新兴的、繁荣的工商业中心。离开利兹后，他为谢尔本（Shelburne）勋爵工作了五年，担任秘书以及孩子们的家庭教师。谢尔本勋爵是英国杰出的自由主义政治家，他参与了结束美国独立战争的巴黎条约（Treaty of Paris）的谈判。在普里斯特利雇佣工作期间，他游历欧洲，并于1774年10月在巴黎与安托万·拉瓦锡（Antoine Lavoisier）偶遇，因为两人关于氧气的发现有所争议以及普里斯特利坚决拒绝接受后者的“新”化学，自此两人的名字被联系在了一起⁹。普里斯特利支持美国和法国革命，把二者看做是自由对国教（法国旧社会制度中的天主教、英国国教或德国和斯勘的纳维亚的路德教派）和政府腐朽独裁力量的胜利¹⁰。他公开拒绝三位一体信仰（尽管这在当时是重大犯罪），并创立一位论教派。在出版物中他论证到：教会的三位一体教义是早期基督教会希腊哲学的堕落产物（Priestley 1786）。当然牛顿也持相同观点，但从不公开宣传。普里斯特利的自由主义及其最终的认识论信念使他公开承认上帝一位论，在观点的争论和捍卫中真理浮出水面。

对于1789年法国大革命的支持者来说，英格兰从来不是一个安稳之地，特别是1792年巴黎公社取代最初的“中产阶级”革命，以及1793年英格兰加入与法国进行战争的反革命、反动同盟后，情况变得更为糟糕。因此，在其实验室和图书馆被暴怒的“国王和教会”的反动暴徒毁坏后、在许多亲密的不信奉国教的朋友和政治自由主义者被作为囚犯运送到植物湾（Botany Bay）后，普里斯特利于1794年逃离英格兰，旅行到了宾夕法尼亚州遥远的乡村地区诺森伯兰小镇。在那里，他把生命的最后的10年用于写作、参与宗教活动，并与杰出的政治家进行广泛而深入的交往，特别是托马斯·杰斐逊（Thomas Jefferson）¹¹。1804年，他在自己家中去世，他的住宅现在仍然存在¹²。

普里斯特利的著作

普里斯特利的一生，担任基督教牧师是他最重要的事情，从1755年他22岁被授予神职到70岁去世，他一直强调这件事¹³。然而，伴随他积极的牧师生活，普里斯特利还出版了大量重要且权威的著作，这些著作跨越了许多领域：书、小册子和文章的数量加起来超过了200，内容涉及科学史（特别是电学和光学的历史）、政治理论、神学、《圣经》评论、教会史、语言理论、教育哲学、修辞学和化学（现在在化学方面最有名气）。在这些著述中，有大约20部重要的多卷本著作，而且其中许多已出版了第二、第三和第四版。普里斯特利的《文选》（25卷）由鲁特（Rutt）（1817—1832/1972）编写，其中并没有包涵他所有的科学出版物。罗伯特·斯科菲尔德（Robert Schofield）编辑的选集（1966）中有普里斯特利的一些科学通信。包含普里斯特利一系列重要著作且最容易得到的资料是由约翰·帕斯莫尔（John Passmore）主编的350页的选集（Passmore 1965）¹⁴。

普里斯特利与启蒙运动

普里斯特利的一生跨越欧洲启蒙运动的核心时期，该运动受培根（Bacon）、伽利略、惠更斯（Huygens），尤其是艾萨克·牛顿（Isaac Newton）的新科学成就和著作的鼓舞¹⁵。的确，整个启蒙运动开始于牛顿、洛克、休谟和其他人把新科学的方法用于道德科学和政治科学的信念。在《光学》中，牛顿对此信念有这样的表述：“如果自然哲学的各个部分都使用这种方法，最终各个部分将变得完美，那么道德哲学的范围也将扩大”（Newton 1730/1979, p. 405）¹⁶。大卫·休谟回应了这种期望，他的名著《人性论》的副标题就是“尝试把推理的实验方法引入道德学科”。在该书的序言中，他说自己追随“已开始把人类科学放在新基础上”的英格兰哲学家（Hume 1739/1888, p. xxi）。

普里斯特利在达文特里学院阅读了牛顿、洛克及他们的重要阐释者的著作，在那里他开始发展其独特的启蒙运动世界观。他是虔诚的基督徒，不是信仰非人性造物主或“智能设计者”（造物主创造了世界，然后就不干涉世界了）的自然神论者。他信仰有人性的上帝，同时发展了理

性的唯物主义世界观，这种世界观一直在强化他的科学和其他探究，同样，世界观也被这些研究所强化。

普里斯特利是一个博学者，而且用今天的术语来说他也是一个“公众知识分子”，他的兴趣极其广泛，不仅如此，他还在学术、私人、宗教和政治活动中明确追求一致性和知识统一性。牛顿已建立适用于地球和其他天体的单一的引力定律，普里斯特利相信同样简单的定律也适用于社会和精神（心理）领域，这在某种程度上是因为所有领域的物质是单一的。普里斯特利是启蒙运动唯物主义传统的有力倡导者，是本体论一元论者，他拒绝自然哲学、心理学和宗教中所有的二元论¹⁷。他不相信世界上物质的多样性，认为借助于“无重量流体”（包括拉瓦锡的能量定律）来解释磁、电、光或热现象的行为既是多余的（因为无重量流体解释不了什么，正如原子论者所坚持的观点一样，这些现象可由粒子的适当运动来解释），又是不切实际的，因为根本不存在这种实体（非物质流体）。正如他关于假想电流体的说法：“根本没有电流体，带电仅是某种物质的一些（新）修饰，任何物体在带电前都包含这种物质”（Schofield 1966, p. 58）¹⁸。

对普里斯特利而言，其认识论（经验论）与本体论（唯物主义一元论）相联系，二者又与他的神学（上帝一位论）和心理学（联想主义）相联系。上述所有这些都对他的政治和社会理论（自由主义）产生了影响。他是一个自觉的概要思想家或系统思想家：知识与生活是一个整体，必须统一起来。普里斯特利是否已达到他所追求的一致性，这存在相当大的争议。对普里斯特利所主张的本体论唯物主义与基督教信仰结合的一致性，许多人从一开始就持有争议。当然，以一致性为目标和实现这一目标是两件不同的事情。

普里斯特利致力于由自然哲学组成的基督教世界观。这种世界观通过他的著作得到发展，他在《电学史》的序言中有部分表述：

“哲学家（科学家）应该比其他人更伟大、更优秀。思考大自然会使其德行高尚，升华其善心，泯灭其本性中的卑鄙、低劣和自私，使其全部情感变得崇高，并且教他追求伟大的万物创造者的高尚道德……在神力、智慧和美德的产物中沉思度过一生，将是奉献的一生。”

（Priestley 1767/1775, Preface）

根据这种世界观，追寻我们现在所谓的“科学”知识是一种宗教美德，事实上几乎是一种宗教责任：忽视世界就是忽视上帝的作品，发现世界就是崇敬上帝。毋庸置疑，不阻挠知识进步、不阻碍或压制真理，这些都是宗教义务。因为独裁主义和专制主义与追求真理对立，所以在教会和政府中必须反对此二者。对普里斯特利来说，宗教和认识论既相互联系又相互依赖。与许多现在流行的观点相反，对普里斯特利而言，宗教知识并非是持不同认识论的另类知识。他不是18世纪“互不重叠的权威”（Non-Overlapping Magisteria, NOMA）的拥护者。

普里斯特利发现光合作用的第一步

普里斯特利直到30岁以后才开始认真研究化学，那时他正在利兹长老会教堂当牧师（1767—1773）。通过使用水与水银收集“空气”的新方法，并用一个大的放大镜作为热源¹⁹，他很快制造、分离了十几种甚至更多的“空气”成分，并列出了它们的性质。

1772年英国皇家学会演讲

1772年3月，普里斯特利在英国皇家学会发表一系列演讲，向学术界公布了他在利兹所做的空气实验和调查。随后，这些演说在该学会同年的《皇家学会哲学汇刊》上发表，这就是他著名的118页论文——《对各种空气的观察》（Priestley 1772a）²⁰。这篇论文被译成欧洲多国语言，被读者（其中包括拉瓦锡）广泛阅读，并于1773年被授予英国皇家学会科普利奖——相当于18世纪的诺贝尔奖²¹。在他的著作《对各种空气的实验和观察》（Priestley 1772b）第3卷中，他用更多的实验详细地说明了这篇论文。这些出版物无疑奠定了普里斯特利“空气化学之父”的地位。

1770年2月21日，他在给终生密友、上帝一位论教派教友西奥菲勒斯·林赛（Theophilus Lindsey）（1723—1808）的信中写道：“现在，他正在采纳海尔（Hale）博士关于空气的一些探究”（Schofield 1997, p. 237）。正如他在英国皇家学会演说中所写的：

“即使是维持小火苗燃烧所需的空气量也是巨大的。一般而言，一支普通蜡烛一分钟大约会消耗一加仑空气。考虑到各种火、火山等对空气如此巨大的消耗量，以下这些就成为哲学探究的重要对象：

弄清火焰对空气的组成成分带来什么变化；为恢复空气在这些过程中所受到的损失，自然界究竟需要采取什么措施。或许，下面的一些实验将对阐明该主题有所帮助。”

(Priestley 1772a, p. 162)

普里斯特利的基督教世界观激发了他对以下问题的探索：由于长达数世纪的动物和人类呼吸，再加上火山和自然火灾，空气应该逐渐变得不适宜人类生存。神学理论认为这是不可能发生的。仁慈全能的造物主不会创造这样一个世界，上帝必定为空气的自然恢复做了某种准备。

普里斯特利的第一个想法或假说是常识性的：既然动物和植物二者生存都需要空气，那么动植物必然以相同的方式作用于空气。然而，实验让他抛弃了这种想法，他写道：

“人们可能会这样想象：因为植物和动物生存都需要普通空气，所以植物和动物都以相同的方式影响空气；当我第一次把一小枝薄荷放入倒置在水容器中的玻璃瓶时，我承认当时我的预期还是如此；但是，当这枝小薄荷在那儿生长了几个月后，我发现其中的空气既没有使蜡烛熄灭，也没有使我放入其中的老鼠感到不适。”

(Priestley 1772a, p. 162)

1771年8月23日，普里斯特利的研究有了成果。他再次给林赛写信说：“我已发现了我长期探索的东西，即呼吸产生的有害空气实质上能恢复到先前健康的状况”(Schofield 1966, p. 133)。在英国皇家学会演说中，他说道：

“这个观察使我得出这样的结论：植物影响空气的方式与动物的呼吸不同，它逆转了呼吸的影响；植物趋向于使空气保持芳香和健康，而动物的生活、呼吸、死亡和腐烂使空气变得有害。”

(Priestley 1772a, p. 166)

普里斯特利提出一种机制来解释这种有益的影响：“可燃物燃烧导致空气中燃素物质过量，植物吸收这些燃素物质，使已改变的空气成分得以恢复”(Priestley 1775—1777, Vol.1, p. 49)。但是，他有严格的认识论原则——慎重对待猜想的、未知的机理，给这些机理临时性的地位。

为了与此原则一致，他又写道：“无论这个猜想是否有任何基础，我认为该事实是不容置疑的”（出处同上）。对于普里斯特利而言，观察事实（观察事实应当能够达成一致）和未见的假定机理间具有本质的区别，这种区别在他的著作中多次出现。例如，在1779年写给乔瓦尼·法布罗尼（Giovanni Fabroni）关于植物在可燃空气中茂盛生长的信中，他提到：“对我来说，这些事实非常特别，你一定要帮我解释它们，因为我是一位非常糟糕的理论家”（Schofield 1966, p. 171）。普里斯特利对事实和解释之间的区别的坚持，使他有时也被称为“原始实证主义者”。不借助于理论，是否能表述或描述“事物的事实”，这是长期争论的哲学问题。

1772年，普里斯特利发表的论文是一篇杰作，被公认为科学史的里程碑。这篇论文描述了如下内容：普里斯特利制作苏打水（派尔蒙特水）的过程；他通过加热硝石（硝酸钾）产生了氧气，但并未识别氧气；他对“良好空气”进行一氧化氮检测；最后，但也同样重要的一点是他发现了“良好空气”的复原机理。这些成就中的任何一项都足以使他获得科普利奖。

“良好空气”的检测

理解植物使空气质量恢复的过程（光合作用）重要的一步是对“良好空气”进行某种定量检测。没有这种检测，就类似于某种处理方式使某物变得更重或更长，但没有天平或卷尺来测量究竟重了多少或长了多少。普里斯特利新奇的含氮气体（一氧化氮）检测提供了这种定量工具。

普里斯特利取一定量不可溶的无色含氮气体，再取两倍量不可溶的无色普通空气，使二者混合，等待二者发生反应，生成可溶的棕色的含氮蒸汽，然后摇动水上面生成的气体，通过记录收集瓶中水位的上升来测量溶解了多少。用现代术语来说，含氮气体（NO）与空气中的氧气（O₂）混合生成红色、混浊且可溶的二氧化氮（NO₂）。水上升得越高，消耗的氧气越多，样品中空气的质量越“好”。这就是著名的、常用的含氮气体（一氧化氮）检验“良好空气”的实验（Boantz 2007, pp. 513-516）。

普里斯特利发现光合作用的最后几步

1773年，普里斯特利离开利兹开始为谢尔本勋爵工作，他担任图书

管理员、秘书和孩子的家庭教师，此时他已经对“空气复原”的大部分难题有所认识。18世纪70年代和80年代，他又重新研究了这个问题，挖掘它的其余部分。1778年，普里斯特利的“实验和观察”完善了他1772年关于空气复原的阐述。他写道：

“总的来说，今年的实验否定了我以前假设。因为不论是用呼吸过后的空气做实验，还是用蜡烛燃烧或任何其他物质燃烧过后的空气做实验，空气质量不但没有变好，反而变坏了。

大多数情况下，植物若未能改善空气，这些植物要么患了病，要么无法茁壮成长，但我在利兹所做的第一批实验中植物茂盛生长，所以我不能发现其中的缘由。”

(Priestley 1779—1786, Vol.I, p. 298, in Nash 1948, p. 359)

他的问题之一是缺乏充足的光照：户外实验的结果比户内、特别是远离窗户的室内实验的结果更好。因此，他对植物恢复空气质量的确信程度降低了：

“总的来看，我仍认为很可能是这样的：生长在自然环境中的健康植物对它们生长环境中的空气能够产生有益的影响。由于在这些实验环境中，植物生存在许多不利条件下，而实验必须要在这些环境下完成，完成这种实验需要高度专心并借助许多措施，因此，这些环境中空气得以改善的一个实例抵得上一百个空气变糟的实例。据我所知，没有实验需要这么多注意事项。”

(Priestley 1779—1786, Vol.I, p. 299, in Nash 1948, p. 360)

在写上面这封信的几个月中，他同时致力于完成一系列哲学、神学和政治工作，他准备进一步研究纯净空气的来源问题。他看见这些纯净的空气由小玻璃瓶中的绿色物质和植物释放出来。起初，他认为纯净空气来源于绿色物质或树叶，他设计了一个巧妙的实验来检验这个假说。1779年9月，他给他的好朋友本杰明·富兰克林(Benjamin Franklin)写信，信中说：

“虽然你在积极从事更重要的事务(起草《美国独立宣言》)，但我想下面这件事能让你感到快乐：自从我的上卷(《各种空气的实验

和观察》)出版以来,我的实验一直非常成功。

我已确认、解释和扩展了以前关于植物净化空气的观察结果,首先我发现上卷论述的绿色物质来源于植物,然后发现完全生长在水中的其他植物也具有相同性质,在缺乏燃素的情况下,它们全都吸收不纯净的空气并排放空气(这些空气对它们来说是排泄物)。”

(Schofield 1966, pp. 178-179)

其他实验证实:绿色物质与水生绿叶只有在日光照射下才能产生纯净空气,热量无法代替光。因此,植物假说得以恢复,事实上是扩展了:植物不仅能复原燃烧和动物呼吸消耗的空气,而且还能复原溶解了有害空气的水,水中溶解的空气因鱼的呼吸变得有害。此时,普里斯特利基本上完成了空气复原的研究,确立了19世纪后期所谓的“光合作用”的大多数要点²²。

普里斯特利意识到实验需要对照组以及识别和控制变量,并意识到在自然哲学中,从实验中得到明确的结论还需更加慎重。所有这些都与托马斯·库恩毫无根据地传播普里斯特利是“心胸狭窄的教条主义者”的形象不一致——这种不一致不应被学生遗忘,这或许可以鼓励他们对于历史、哲学以及课文中读到的东西、演讲中听到的东西持谨慎态度。

科学的特征

与单摆范例一样,这里的建议是学生在学光合作用时,哲学(方法论、本体论、形而上学和认识论)主题和问题的识别与讨论要符合所有年级的学生及他们所处的教育环境。正如第十一章将要论证的,教师无需花费太多心思思考什么构成了“科学的本质”,而应更多地思考如何在课堂中处理“科学的特征”,并像教授科学主题那样来教授“科学的特征”。融入普里斯特利和历史方法的光合作用教学,至少应当明确包含如下的特征:

形而上学与科学

直到16世纪末,亚里士多德(Aristotle)仍是西方思想史中最重要的人物。伴随着他在其他方面取得的成就,他成为生物科学的创始人。他是自然界极其敏锐的观察者,撰写过五本关于动物和一本关于植物的

书²³。然而，2,000多年来，亚里士多德学派的两个科学和哲学观点——关于植物营养的阐述和对空气基本特性的阐述阻碍了“空气复原”（光合作用）的发现及正确解释。这两个观点来源于更基本的信念：把基于观察的常识作为所有自然哲学的基础。一位当代的亚里士多德学派学者写道：“在努力认识自然、社会和人的过程中，亚里士多德开始于每个人应该开始的地方——即从日常经验了解已知的东西开始”（Adler 1978, p. xi）。

在亚里士多德的《论植物》中，他看到了动物和植物的相似性，他说：“吸收养料符合自然原理，而且是动物和植物共有的现象……必须提供给动植物相似的养料以善待它们自身”（Barnes 1984, Vol. 2, p. 1253）。在他的专题论著《论灵魂》中，他提到如何向植物供给养料：“如果我们根据器官的功能来区分和辨别器官，那么植物的根类似于动物的头”（Barnes 1984, Vol. 1, p. 662）。植物的根和动物的嘴都有接受食物的功能。可以说，植物的头在地里，这与人们朴素直观的认识一致，也与人们的农业实践一致：植物从种子开始生长，通过根从土壤吸收养料和水分。这是中世纪“类比推理者”认识植物的基础。这种关于植物的常识性观点逐渐被17世纪的“实验主义”研究者所阐述，他们模仿的不是亚里士多德对植物的观察，而是培根主义者和类似伽利略的科学家关于植物的实验（Delaporte 1982）。

认识光合作用的第二个概念障碍是亚里士多德的空气概念。直到普里斯特利时代，把空气当做一种单一的、基本的、不可分的元素这种观点在科学界（自然哲学）中占据着统治地位，当然在日常生活中也是如此。在亚里士多德的世界观或事物论中，水是另一种奇异元素（与土和火一样）。人们认识到：不是所有的空气都相同，正如水能变脏、变臭，空气也能被烟雾、灰尘、腐烂物等污染。矿井、沼泽、监狱等地方的劣质空气也是如此。然而，人们并没有把劣质空气当做复合物，在现代术语中它们被称为混合物。同脏水一样，杂质只是被加入或带入空气中，而且能被过滤掉。托里拆利（Torricelli）、波义耳（Boyle）、帕斯卡（Pascal）、冯格里克（von Guericke）等研究了空气的性质或物理特性（特别是大气压及大气压与高度的密切关系，以及空气的可压缩性），但并没有研究空气的成分。正如第四章提及的，对于这种研究而言，亚里士多德的“元素”分类是一种“认识论障碍”。在他著名的《各种空气的实验和观察》中，

普里斯特利对此认识给出了充分的表述：

“我相信没有任何哲学中的格言比空气更能抓住人心，空气（意指大气，不受各种杂质的影响，这些杂质被认为是可溶于空气并与空气混合的）至少像水一样是一种单质，固定不变、坚不可摧。”

（Priestley 1775—1777, Vol. 2, p. 30）

正如第十章将要进一步详细阐述的，在普里斯特利时代，亚里士多德学派的观点和常识性的描述开始分道扬镳。人们看到：伽利略、波义耳、牛顿和新科学的机械世界观，使整个亚里士多德学派形而上学的观点及相应的用自然、形式和本质（改变物质使其与目的论的内在潜能一致）解释的科学教育变得毫无意义。根据亚里士多德的阐述，橡树种子有长成橡树的潜能，这种潜能指引橡子生长为一颗橡树，而不是生长为香蕉树或玫瑰丛。随着亚里士多德学派形而上学的终结，空气和水作为基本且同质元素的思想就成为短暂且具有争议的观点：它成为可以由实验程序来研究的东西，并且已经进行了研究。

实验与科学

除了对亚里士多德学派形而上学的哲学批判外，新科学也使对自然的实验研究合法化，它不再受束缚于亚里士多德学派对干预自然的苛责。对亚里士多德来说，自然哲学研究的是“自然运动”，而不是“强迫运动”。强迫自然的实验导致非自然的运动，因而也无法使人了解自然过程²⁴。

琼·巴普提斯塔·范·海尔蒙特（Johann Baptista van Helmont）（1577—1644）是佛兰德的医生，也是跨越炼金术和化学研究两大领域的重要人物。他发表了著名的柳树实验研究成果，该成果证明：在五年的时间里，种植在罐里的一颗柳树幼苗增加约164磅“树原料”，这些原料看似来源于水量的增加（Helmont 1648）。因此，很显然水变成了木头——一种土质的物质，正如炼金术师所说的那样，水“变成”了土。

罗伯特·波义耳（Robert Boyle）（1627—1691）是著名的英国自然哲学家，也是不太知名的炼金术师。1661年，在他出版的《怀疑派化学家》中，他利用海尔蒙特的实验详尽地批判了亚里士多德学派的形而上学系统。他没有用海尔蒙特的盆栽土，而是让植物生长在水里，他发现也有相同的结果：植物仅通过加水生长（在土质材料中生长）。此结果强

化了炼金术师水能变为土的观点，这就反驳了亚里士多德学派认为它们是不同的观点。这是科学实践迫使形而上学调整的另一个实例。

在1727年的《植物静力学》中，英格兰牧师斯蒂芬·黑尔斯(Stephen Hales)(1677—1761)通过实验认识到：植物生长时，空气确实进入植物；反过来，生长的植物也会释放空气。促使他对自然进行定量实验研究的世界观是当时标准的基督教世界观：

“因为……全能的造物主在创造万物时已观察到数量、重量和测量的最精确比例，所以洞察造物(在我们观察范围之内的)组成部分的本性，最适合的方式必定是计算、称重和测量。”

(Hales 1727, p. 1, in Scott 1970, p. 44)

1756年，苏格兰化学家约瑟夫·布莱克(Joseph Black)(1728—1799)通过加热大理石(碳酸钙)分离和鉴别了二氧化碳，他称其为“固定的空气”²⁵。他认识到这种空气完全不同于大气中的空气——它使石灰水变得浑浊，并且不支持燃烧。关于布莱克的发现，一位同事写道：

“他发现一立方英寸的大理石由大约其重量一半的纯石灰和多达能够充满六加仑酒容器的气体组成……他发现了一种微妙的、类似空气的物质，它以坚硬石头的形式存在，这种气体的出现伴随着石头性质的变化。还有什么能比该发现更奇特呢！”

(Leicester 1956/1971, p. 134)

于是，有不同成分空气(air)的想法出现了。海尔蒙特创造的术语气体(gas)未被广泛使用。然而除了这些进步，普通大气是一种空气(各种气体)复合物的思想却并未普及。迟至1771年，法国化学家杜尔哥(Turgot)将空气描绘为：“它是一种有重量的物质，依据所包含热量的程度，它不断进入蒸气状态或易扩散的流体状态”(Brock 1992, p. 102)。

世界观与科学

在《2061计划》中，AAAS认识到将科学与世界观相联系在教育上的重要性：“意识到科学技术发展对人类信仰和情感的影响，这应是每个人所受科学教育的一部分”(AAAS 1989, p. 173)。光合作用的历史教学法为讨论和阐明这些抽象主题提供了背景。

普林格尔 (Pringle) 获科普利奖的演讲经常被引用, 它很好地表达了构成普里斯特利以及那个时代多数自然哲学世界观的宇宙设计、目的论以及人类中心论的总体意识。另一位普里斯特利的同时代人物威廉·佩利 (William Paley) (1743—1805) 清楚地表达了设计和神意的思想, 佩利的《自然神学》(Paley 1802/2006) 是剑桥和牛津每一个学生的必读书目。对大多数人而言, 正是根深蒂固的神意思想从仁慈造物主的信仰中自然流露出来。神遍布于中世纪和近代早期的自然哲学中, 对所有自然哲学家来说, 自然处于其研究最突出的位置, 但神却处在隐蔽的位置。他们简单地假设: 正如今天研究钟表的人知道他们正在研究人造之物, 他们以基本相同的方式在研究神的手工作品, 他们的所见反映了设计和手工技巧的好坏²⁶。

神意分别在三个层次上起作用: 控制自然界 (地震、风暴的发生, 等等); 支配人类历史 (战争的结果, 等等); 影响个人生活 (疾病康复、避免意外的发生, 等等)。穆斯林仍用“如真主许可……”引出所有对未来事件的论断。普里斯特利也坚持这种普遍存在的世界观。在《政府第一原则》中, 他写道:

“我信仰神意统治的教条, 我深信整个自然系统中的任一事物, 无论它在某些方面多么有害, 它都有实际 (尽管未知) 的用处; 而且, 任一事物, 即使在特定国家的民事法或教会法中是粗鲁的暴行, 也有助于神的智慧与仁慈的设计; 尽管有这些外表现象, 主宰的神仍统治着人的王国。”

(Miller 1993, p. 6)

普里斯特利的空气复原研究巩固了他的世界观。对他而言, 自然是如此奇妙地形成“善总是产生于恶, 恶对整体非常有益, 这是普遍规律, 善必定从属于恶”(Priestley 1774—1786, Vol. II, p. 63)。在《回忆录》中, 他写道: 科学研究的最大优点是它们趋于“在很大程度上, 通过激发我们对神的杰作和神意的绝妙安排的赞赏来激发虔诚的精神”(Priestley 1806/1970, p. 200)。进一步, 与那些心怀启蒙运动的无宗教哲学信仰者一样 (正如艾萨克·牛顿在《原理》中写的), 普里斯特利补充道: 连那些“转变思想”的人也无法避免感知和赞赏“最绝妙完美的神予之物”(出处同上)。

科学和世界观讨论中的重要问题，正是科学能否以及怎样支持或否定特定的世界观的问题。

溯因推理

对普里斯特利的神意世界观论证最恰当的理解，既不是演绎论证（显然无效），也不是归纳推理（论证不是从单个样本到全体），而是溯因推理——这是查尔斯·桑德斯·皮尔士（Charles Sanders Peirce）在19世纪后期引入的术语（Aliseda 2006）。近来，这种论证也被称为“对最佳解释的推论”（Lipton 1991, Psillos 2004），其结构如下：

有一些关于世界的证据充分的观察（observation, O）。

如果某一理论或假设（theory, T）为真，那么O将被认为是真的。

那么，O为相信T是真的提供了理由。

普里斯特利认识到，从对自然过程的理解到神的（超自然现象）知识、从世界知识到上帝的知识的最后一步是所有自然神学中的标准推理（独立于启示的神学推测）。在18世纪，几乎所有自然哲学家都曾走过这一步。

在《电学史》中，普里斯特利写道：

“与博物学研究一样，对自然界力量的研究促使我们不断形成神的完美与天意的观点，这些观点使人们的想象力得到愉悦，内心得到升华。”

（Priestley 1767/1775, p. iv）

普里斯特利认识到这一步并不具有逻辑说服力，它不是证明。它是一种“暗示”，但在心理学上是“无法避免的”。考虑到18世纪的背景知识和文化，两者都是真实的。但是不论当时还是现在，这一步的确都没有逻辑说服力，它并不是证明。普里斯特利懂得，从自然观察到无形的自然机理这一步没有产生明确的知识。亚里士多德和中世纪学者也认识到这种论证形式的局限性，他们知道下面这种论证形式是无效的：

T（理论）蕴含O（观察）

O（这种观察出现）

所以T（为真）

上述论证犯了肯定后项的推理错误（也被称为演绎推理），许多别的T也蕴含O，因此，O的出现不能证明任何特定的T。所以从观察到超自然机理这一步更没有说服力。

用皮尔斯（Peirce）的一个例子来说明“对最佳解释的论证”：如果在远离现今海岸的内陆发现了鱼化石（O），那么我们可以拓展理论或假说“海洋曾经覆盖这片区域”（T）。这个理论给O提供了现在的最佳解释，所以，O为相信T提供了支持。这段典型的科学推理既非演绎也非归纳，皮尔斯把它称为“溯因”，当然他认识到这不是证明（Peirce 1931—1935, Vol. 2, p. 629）。观察O为承认T提供了支持，但不能证明T为真。此推理过程开始于科学假设“必定有关于O的某种解释”，而在科学中也有这种假设“存在关于O的自然解释”。正如第十章将要详尽阐述的，超自然的最佳解释是不被允许的，它们被自然主义方法论排除在外。

对普里斯特利而言，O是空气复原，T是他的基督教世界观，后者为观察到的现象提供了最佳解释。他知道达到最佳解释的推理是试探性的，不是证明。然而，这种推理有另一方面的支持：普里斯特利是基督教启示的虔诚信仰者，他终生都是基督教牧师和庄重的圣经学者。他的观点是，自然观察和正确解读的启示这两类前提作为观察的最佳解释，共同为神或超自然作用提供令人信服的推理，并影响了他的科学发现。

然而，普里斯特利去世不到半个世纪，达尔文的研究就对神意自然界的有神论画面构成了严重挑战，在很多方面更是完全破坏了这一画面。这一点，至少可以作为神意操纵自然层面的案例，达尔文学说并未提及历史或个人的层面。普里斯特利关于自然过程的观察，如植物在空气复原中的作用仍然成立，但越来越不符合他对这些观察的神学解释。达尔文之后，对这种不加构思的适应性的认可成为常态；而关于O的存在还有另一种“最佳解释”方式，这种方式也是一种自然解释，它不需要依赖超自然作用。许多人放弃了犹太—基督教（和伊斯兰教）信仰；许多人保持着无神论信仰；许多人，诸如当代“智能设计”的支持者重新解释神意，使它看起来与“独立运行的”世界相符²⁷。

唯物主义

普里斯特利把握一切机会详尽阐明和评价哲学中长期存在的本体论观点（即唯物主义）。他相信唯一的神至上，唯一的物质在神之下。他是唯物主义者：他的本体论不承认精神、灵魂或心灵这类东西在本体论方面不同于物质²⁸。他是本体论一元论者，他写道：

“与构成我书桌的物质粒子相比，构成我身体的那些粒子有什么独特之处……如果我知道那些粒子快速地改变位置，而我自己没有任何疼痛的感觉，那么我认为这不会给我带来任何问题。”

（Gibbs 1967, p. 99）

在普里斯特利的《哈特利的人类心灵理论》引言中，他写道：

“我相信所有人都具有某些相同的成分，感知特性以及其他被称为精神的力量都是机体结构（如大脑）产生的（不论是否有必要）结果。”

（Priestley 1775, p. xx）

虽然以上表述看似矛盾，但普里斯特利是基督教唯物主义者，他在反思自己的著述所产生的影响时，有明确的陈述：

“唯物主义者，不是无神论者大量增加（这令我欣喜），因为有些仍然相信神的存在，是最认真、最理性和最执著的基督徒大量增加。”

（Passmore 1965, p. 169）

普里斯特利否定了所有关于灵魂能够离开身体存在的信仰，这是一种“来自东方的错误哲学”，完全没有圣经依据。他认为独立的个人灵魂，把物质和精神相分离的本体论完全是非希伯来的、非基督教的，而且是基督教会中大多数错误、幻想和腐败思想的根源。1778年，在给罗瑟勒姆（C. Rotherham）牧师的信中，他写道：

“直到去利兹之前，我都是一个阿里乌斯派教徒，我的唯物主义是后来形成的。但是您知道：我认为现在灵魂教义已被引入基督教，而且成为我们宗教腐败的主要缘由。”

（Priestley 1806/1970, p. 40）

对普里斯特利而言，信仰灵魂不仅是非基督教的，而且在哲学上也是愚蠢的。为了解灵魂哲学的意义，人们不得不接受某种形式的柏拉图学说或亚里士多德学说，但普里斯特利拒绝这两种学说。

伦理学与动物实验

在普里斯特利含氮空气检测以前，确定“良好空气”唯一可用的方法是矿工用金丝雀来检验有毒气体。更常见的则是把实验室老鼠放入待检验空气的密闭容器中，通过老鼠的存活时间测量其中空气的“良好程度”。老鼠检验激起了初期浪漫主义和人文主义对新科学的反抗，德比（Derby）的约瑟夫·赖特（Joseph Wright）在1768年通过一幅感人的画作“气泵里的鸟实验”表达了这些反抗。在画中，一只鸟躺在排空空气的罐子里，窒息而死，一个沉思的观众在旁边观看，一位妇女则把脸转过去不看。这幅画在观众中激发了“科学不适合妇女”的观点。

普里斯特利曾遇到过这种事情：安娜·利蒂希娅·艾金（Anna Laetitia Aikin）是他密友的女儿，也是普里斯特利的仰慕者，艾金于1773年出版了一部诗集，其中一首诗的标题是“老鼠的祈求”——这首诗的内容是关于她在普里斯特利实验的笼子里发现的一只老鼠。她懂得他实验的本质，也了解他对人类自由的向往，因此她写了这首诗，并放在鼠笼旁吸引他的注意²⁹。

啊，听到悲伤囚徒的祷告，
为自由叹息；
对这个卑鄙的人哭泣，
别让您的心关闭！

在金属丝笼里，
我坐在这儿，孤独又悲伤；
黎明到来之际，我浑身发抖，
因为那预示着即将到来的命运。

如果自由在您的胸膛里永远燃烧，
踢开暴徒的锁链，

那么，请您不要用强大的力量
拘禁天生自由的老鼠！

这首诗打动了普里斯特利，进而引导他发现了新的化学检验方法检测“良好空气”。这对一代代的老鼠、对科学的声誉和空气测量的精确度而言，都是值得高兴的事情。

正如第五章已经讨论的，在科学教育中无法避免关于价值、伦理、道德和科学方面的问题。现在，所有的重点高校都有伦理委员会，规范自然科学研究和社会科学研究，这些研究直接或间接影响人类、动物及更大范围的社会福利。研究者需要向委员会证明他们的方法和目标是合理的。从前那种把动物用于科学实验和实验室解剖的简单草率的做法，现在得到了严格的控制（Rollin 2009）。不仅如此，伦理委员会还明确教育甚至要求人们要关爱动物——新西兰科学大纲的一个目标就是“关爱动物”，并承认它们的权利。到目前为止，由于在一定程度上受到科学无价信仰的影响，这些问题在科学教育中被忽视了——在推进课程目标的过程中，宰杀各种老鼠和青蛙成为常见的现象。普里斯特利的案例把该哲学和教育主题放到历史背景之中，并为学生分析和辩论这些问题提供了机会。

科学的商业化

1767年，普里斯特利成为第一位制造苏打水并把它装入瓶中的人，他又将这种苏打水叫做“派尔蒙特水”（Pymont water）³⁰。派尔蒙特是汉诺威市（Hanover）著名的药用温泉之地。普里斯特利知道，派尔蒙特气泡是二氧化碳（即当时所说的固定空气），他提取这种气体并将其作为利兹酿酒厂的副产品，而且他把粉笔和酸混合，独立产生了这种气体，将释放的气体装入气囊，使气体处于压缩状态。那时，人们对确定英国和欧洲大陆矿泉水的有效成分很感兴趣，但没有人考虑过制造矿泉水。普里斯特利认识到这能带来巨大的财富，然而他拒绝将派尔蒙特水进行商业包装，他认为自然哲学家应当“追求真理，而非金钱”。约翰·施韦普（Johann J. Schweppe）（1740—1821）抓住了这个商业机会，他从1793年开始在他位于卡文迪什广场（Cavendish Square）外的工厂制造和销售高压苏打水。正如大家所言，其后的事情就成为了历史³¹。

普里斯特利的苏打水制作工艺是革命性的，如果将其出售将会大发

商业横财，但如圣徒般纯洁的他却对此感到厌恶。这个事例为讨论科学与商业结合这一问题提供了机会。这并非浪漫主义者希望的那么简单：普里斯特利支持科学和科学知识的商业使用。对他来说，追求好的科学既是宗教义务，也是促进“改善人类条件”启蒙运动的手段，因此，他支持制造业和以商业为主的“月光社”（Lunar Society）（Schofield 1963, Uglow 2002）。在过去几十年中，关于科学商业化及其蕴含的“科学本质”的意义有大量的文献³²。科学是“出卖了灵魂”还是“获得了形体”？如果NOS课程的目标超越通常的方法论和认识论核心，那么商业化就应该得到师生们的关注。

课堂中的普里斯特利

威廉·布罗克（William Brock）在其巨著《丰塔纳化学史》（The Fontana History of Chemistry）中，把普里斯特利描述为“科学史上最魅力的人物之一”（Brock 1992, p. 99）。我们有足够的证据来相信布罗克的主张，也有大量的论述支持这个说法：科学实践与哲学和世界观交织在一起，三者是相互影响的。正如本章开头提到的，要在课堂中使用普里斯特利的生平和著作，可以从以下三方面的思考开始：公众关心的有关“空气质量”的环境问题；许多课程中包含的“科学的本质”；引起广泛关注的对欧洲启蒙运动传统进行重新评价这三方面。如果教师知识丰富，那么就能够通过普里斯特利促进学生对上述事件的理解。

根据过去几十年融入历史和哲学研究的科学课程得到一些经验³³，普里斯特利的著作中可能包含一些显著的方法。

历史片段

由学生或老师简单介绍关于普里斯特利历史的片段适合于任何层次的课程。在最低层次，教师可以在化学和生物课上给出人物照片，并介绍一些相关历史。这些片段可以根据班级学生的兴趣、受教育程度和年级水平进行调整，相关主题可包含普里斯特利的宗教信仰、政治活动、教育理论和实践、婚姻和家庭生活、对美国 and 法国革命的支持、与拉瓦锡的交往、制造苏打水、反对新的氧气燃烧理论、反对殖民地化和奴隶贸易以及对美国开国元勋的影响等等。

此外，还可以介绍普里斯特利时代更广泛的科学、政治、社会、宗教和知识环境：宗教歧视活动；欧洲和英格兰的政教矛盾；科学在法国和英国启蒙运动中的作用，以及科学在欧洲帝国主义中的作用；议会政府的状况；欧洲殖民地化；法国大革命的影响；初期的资本主义生产对英格兰的社会影响；科学对促进航海、商业和工业的作用。可以采取个人或小组论文的形式，通过讲演或幻灯片汇报在班里展示历史片段。历史片段能够帮助学生更好地理解科学内容；更好地理解科学传统，并对科学传统产生感恩意识；增加科学兴趣；在更全面的教育目标上考虑学生的地方感、文化感和身份感。一个不容忽视的优势是历史迁移的安全性可用于在课堂上处理一些有争议的事件。例如，在当代一些西方社会和伊斯兰社会，对政府、审查制度、国家宗教纠纷的批判性讨论可能是危险或被禁止的，而在普里斯特利的生平、时代和论证背景下讨论这些题材是相对安全和客观的³⁴。

历史—探究教学法

把普里斯特利带入课堂更严格的方式是设法使实验课与历史故事结合，即设法追踪实验科学的路径，也可以这样说，设法跟随大师的脚步。当进行这些活动时，有可能在某种程度上重现当年促进实验展开的知识谜题和科学争论。参与这种形式的活动能使学生增加成就感、提高技能和完善科学知识的结构，同时还能丰富他们的科学知识，提高他们的能力。

19世纪末，恩斯特·马赫（Ernst Mach）（1838—1916）认识到了这一点，他写道：

“年轻的学生通常会由少数数学或科学发现入手来建立自己最终的逻辑推论。而这种选择应当与伟大的科学经典相结合。由此，一些重要的、清晰的观点才可能在思维中扎根并深入强化。”

（Mach 1886/1986, p. 368）

除了英格兰的韦斯塔韦（Westaway）、霍姆亚德（Holmyard）、布拉德利（Bradley）和少部分其他人，以及美国的科南特（Conant）及其他一些人外，科学教师常常忽视马赫的建议。众所周知，科南特的《哈佛实验科学案例研究》（Conant 1948）融入了马赫的方法，其第二章的标题为“推翻燃素理论：1775—1789年的化学革命”（Conant 1948）；第五

章的标题为“植物和空气”(Nash 1948)。这些章节提供了历史课文、词汇表、实验仪器等详细资料,所有这些都用于有关普里斯特利的课堂讨论。

近来,内厄姆·吉普妮斯(Nahum Kipnis)推进了这种历史—探究教学法(Kipnis 1996)。例如,他以光学课程为基础,追溯光学史中经典且简单的实验和演示(Kipnis 1992)。学生阅读原始文献、重做历史实验,对在实验室中看到的现象进行说明和争论。光学材料能够适当替代光合作用的读物和实验。在这种课程中,学生不仅阅读历史,还进行实践和调查,但这种实践活动不是孤立的,而是与科学发展的传统相联系³⁵。

当前,这种历史—探究教学法的另一个案例来自切斯特大学。在那里,约翰·卡特赖特(John Cartwright)教授科学史选修课,其中“氧气的发现”(The Discovery of Oxygen)的教学时间为4—6周。该课程的目标是:

1. 促进学生对科学的历史起源和科学探究的独特本质的理解;
2. 发展科学思维和广泛文化相互作用的意识;
3. 对过去的文化理念培养同感理解;
4. 发展关于历史探究本质的意识;
5. 使学生意识到科学思维和概念的力量和影响。

该课程及其《学生指南》(Cartwright 2004)是化学教学与学习中采用更广泛的情境教学法的极好范例,它能为“光合作用的发现”的类似课程提供模板。

普里斯特利关于空气复原的研究很适合这种历史—探究教学法。重现他的许多发现相当简单:制作苏打水;通过加热金属氧化物生成氧气;黑暗和光照条件对绿色植物空气复原效果的影响;含氮空气的检测;观察“绿色物质”及产生纯净空气的条件;等等。

关于普里斯特利的工作,他自己已经撰写了非常完整通俗的阐述,这是使用他进行教学的诱人之处。普里斯特利自己也希望读者能够复制他的实验。他的文章提供了一种大众教育的方式,也提供了一种方式来认识他认为启蒙运动的真实目的——培养有知识的公民。这些公民尊重理性、敢于质疑权威、珍视自主权,并认为开放社会和公开论辩是所有活动领域、特别是科学和宗教认识领域中知识增长的先决条件。在“科

学为大众”成为教育口号前约两个世纪，普里斯特利就已经成为这一口号的倡导者。

跨学科教学

普里斯特利涉及的知识领域非常广泛——科学、神学、教育、政治、历史、哲学，想要在一门科学课程里涵盖所有这些内容有些不切实际。然而，希望学校或学院的学科间实现某种融合，这样相关领域的教师就能在普里斯特利工作的“重点”方面展开合作，这种想法并非不切实际。

当然在学校体系中，这种融合几乎闻所未闻。历史、科学、数学、音乐、社会研究、文学、宗教和哲学——所有学科各行其道，几乎没有什么交集。从学生甚至教师的观点来看，知识的确是碎片化的。然而，精选的一些主题——诸如“空气的复原”——是极富启发性的，它能够组织课程，使知识间的相互依赖达到最大程度。从这一点来说，至少可以审视目前独立发展的课程、简单地把相关部分拼凑到一起，安排某种融合和交叉，但远不止这些。

关于各学科间融合的一个优秀范例以及潜在的模式出现在德国比勒费尔德大学奥伯斯图芬学院。该学院运用一种“历史一起源的科学教学法”：

“人们注意到了科学的历史、社会和哲学维度。为了激发学生对‘真实事物’——科学内容的兴趣，在科学课程中经常以轶事的形式来介绍历史案例。历史和哲学只不过被当做工具，用来‘销售产品’。而我们的目的不同，我们认为历史和哲学维度是科学和科学教学的必要组成部分，其目的在于在社会和历史背景中呈现科学。”

(Misgeld *et al.*2000)

更多这种跨学科教学的案例可见美国、韩国及其他一些国家开展的各种各样的科学、技术、工程、人文科学和数学课程 (science, technology, engineering, arts and mathematics, STEAM)³⁶。这种学科间的融合是美国《下一代科学教育标准》(Next Generation Science Standards, NGSS) 报告的一部分，该报告支持和鼓励“交叉”的概念和课程。

普里斯特利关于空气复原、方法论、哲学和神学的作品，在其背景下进行阅读、理解和欣赏，并采用历史—探究教学法重做一些他的简单

实验，都是这种跨学科课程的优秀素材。因此，这种学校课程可能看起来如下图（图 7.1）所示，图中列表示学科，行表示主题。

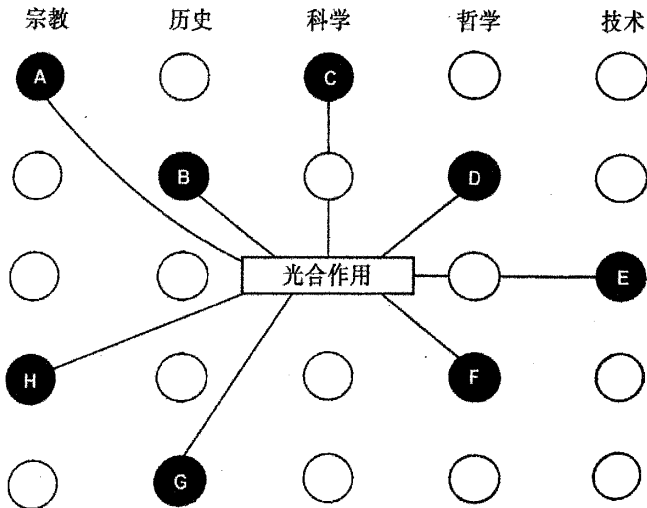


图 7.1 HPS 课程联系。(A) 启示录 (B) 法国大革命 (C) 空气的组成 (D) 实验 (E) 苏打水 (F) 认识论 (G) 启蒙运动 (H) 神意

结论

在科学教育中，普里斯特利的作用未能得到充分发挥。虽然人们承认他发现氧气的贡献，但通常又用这些评论来曲解他：就拉瓦锡的新化学而言，他是反启蒙运动主义者；就他坚持燃烧和呼吸作用的燃素阐释来说，他又是教条主义者。不幸的是，在学校课程中，很少提到普里斯特利对近代认识光合作用的贡献。这令人遗憾，因为他在这个过程中起到了关键作用，他能轻易将学生带入他经历过的许多阶段，使学生有机会“跟随伟大科学家的脚步”，从而不仅能学习到科学的内容、方法和方法论，还能获得处于现代世界核心的思想和分析传统的参与感。

受普里斯特利引导的参与感使学生能够意识并理解科学传统的关键要素：努力工作、实验、思想独立、尊重证据、准备把科学思维模式用来分析和理解更普遍的社会文化问题、对权威主义和教条主义的怀疑以及对开放社会作为提升知识发展条件的关注。

把普里斯特利带入教育领域有利于阐明世界观和科学的相互作用，既有利于研究欧洲启蒙运动的科学源头，也有利于评价普里斯特利在特

殊启蒙运动中占据的地位，尽管存在异议，认为有神论曾使启蒙运动搁浅。认识和欣赏科学与启蒙运动之间的这种联系，可以使教师有机会去辨别传统中什么是腐朽的、什么是有生机的，能为现代社会学生综合教育的科学课堂做出重大贡献。

注释

1. 本章以马修斯(2009)发表的研究成果为基础。
2. 有无数的研究表明孩子们无法充分(考虑年龄和年级水平)理解光合作用，其中请参见：Cañal(1999)、Eisen and Stavay(1988)、Wandersee(1985)及其中的参考文献。
3. “光合作用”这个术语是由英国人查尔斯·巴恩斯(Charles Barnes, 1858—1910)在1898年创造的，用来表示这种复杂的生物化学过程——“在叶绿素和光照条件下，由碳酸合成复杂的碳水化合物”(Gest 2002, p. 7)。
此过程的化学方程式是： $6\text{CO}_2+6\text{H}_2\text{O}+\text{太阳能}\rightarrow\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6+6\text{O}_2$
4. 关于细节，请参见第二章及其中的参考文献。
5. 罗伯特·斯科菲尔德的两卷著作(Schofield 1997, 2004)明确而透彻地研究了普里斯特利的生平。另外，请参见：威廉·布罗克(Brock 2008)和约翰·麦克沃伊(McEvoy 1978—79, 1990, McEvoy & McGuire 1975)的研究以及Rivers和Wykes(2008)、Anderson和Lawrence(1987)的文章。
6. 普里斯特利在其《回忆录》中写道：“我偶尔感到这种无法描述的心灵痛苦，而且现在我回想起来仍心怀恐惧”(Priestley 1806/1970, p. 71)。
7. 关于不信奉国教的学院的相关阐述，请参见Wykes(1996)。
8. 理查德·韦斯特福尔在他的《牛顿传记》中说：在那时，剑桥“几乎就是知识荒漠”(Westfall 1980, p. 190)。
9. 杰克逊的《燃烧的世界》很好地阐述了普里斯特利和拉瓦锡的知识纠纷(Jackson 2005)。
10. 关于普里斯特利的政治作品选集，请参见Miller(1993)。
11. 关于普里斯特利在美国的研究，请参见Graham(2008)。
12. 普里斯特利在那个小镇上的房子长期被作为普里斯特利博物馆和研究中心。不幸的是，因国家财政预算削减，现已关闭。
13. 关于普里斯特利的神学和宗教生活的研究非常多，请特别参见Brooke(1990)和Wykes(2008)。
14. Schofield(2004, pp. 407—422)中有普里斯特利的书、小册子和文章的完整目录。
15. 请参见第二章的参考文献。
16. 在那时，“道德哲学”涵盖的领域很广，几乎包括除“自然哲学”(用我们现在的术语就是科学)外的所有研究。
17. 关于普里斯特利的唯物论，请参见Priestley(1778)。对他观点的批判性阐述和讨论，请参见Schofield(1970, pp. 261ff.)和Dybikowski(2008)。
18. 现代教师设法劝阻学生不要相信电流的“流体”观点，这是在追随普里斯特利的脚步。
19. 这是一个12英寸(30厘米)的放大镜，其焦距为20英寸(50厘米)，它比任何其他可利用的方式提供的热量都多。据说，欧洲大陆的化学家用它来熔化钻石。
20. 现在，英国皇家学会汇刊的所有论文都可以在该学会的网站上找到。
21. 关于这篇论文的更多细节及科普利奖，请参见Guerlac(1957)和McKie(1961)。

22. 60年后, 莱昂纳德·纳什在詹姆斯·科南特的《哈佛实验科学案例研究》中发表的论文(Nash 1948, pp. 369-434)仍是研究早期光合作用发展史的杰作。关于更新的著作, 请参见Magiels(2010)。
23. 请参见乔纳森·巴恩斯(Jonathan Barnes)的两卷本杰作《亚里士多德选集》(Barnes 1984)。
24. 关于对亚里士多德这种标准解释的资质, 请参见Newman(2004, Chapter 5)。
25. 他称二氧化碳为“固定的空气”, 原因是他认为这种空气作为整体, 被收集在(或固定于)碳酸钙和其他金属碳酸盐中, 加热时这种空气释放出来, 当它溶解于石灰水沉淀下来时, 就又被固定了。
26. 关于神学和科学的丰富讨论, 至少请参见Funkenstein(1986)以及Lindberg和Numbers(1986)的文章。
27. 这些是所有哲学和神学的复杂选择。显然, 在有哲学和科学素养的人中, 基督教和伊斯兰教信仰在达尔文之后仍继续存在, 许多人保留了一些神学概念。
28. 关于普里斯特利的唯物论, 请参见Schwartz(1990)和Yolton(1983, Chapter 6)。
29. 这首诗出自于O'Brien(1989, p. 62)。此书还包含沃灵顿学院以及普里斯特利在此处教学生涯的大量材料。
30. 请参见Priestley(1772a)。Gibbs(1967, pp. 57-58, 69-70)详细讨论了苏打水这一事件, 并配有仪器插图。在Coley(1984)和Golinski(1999, pp. 112-117)中也可见到。
31. 这就解释了为什么史威士饮料瓶盖上印有“1793”。
32. 至少请参见: Kitcher(2001)、Resnik(2007)、Irzik(2013)和Radder(2010)中的文章。
33. 请参见《科学与教育》期刊从1992年第一卷直到现在的文章。
34. 这种历史片段的类型和有效的案例, 请参见Wandersee和Roach(1998)。
35. 关于“历史—探究”传统的大量综述和评价, 请参见Heering和Höttecke(2014)。
36. 这是融合的科学、技术、工程、人文科学和数学计划, 请参见Tang(2012)。

参考文献

- AAAS (American Association for the Advancement of Science): 1989, *Project 2061: Science for All Americans*, AAAS, Washington, DC. Also published by Oxford University Press, 1990.
- Adler, M.J.: 1978, *Aristotle for Everybody*, Macmillan, New York.
- Aliseda, A.: 2006, *Abductive Reasoning: Logical Investigations Into Discovery and Explanation*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Anderson, R.G.W. and Lawrence, C. (eds): 1987, *Science, Medicine and Dissent: Joseph Priestley (1733-1804)*, Wellcome Trust and Science Museum, London.
- Barnes, J. (ed.): 1984, *The Complete Works of Aristotle*, 2 volumes, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Boantz, V.D.: 2007, 'Collecting Airs and Ideas: Priestley's Style of Experimental Reasoning', *Studies in History and Philosophy of Science* 38(3), 506-522.
- Bolton, H.C. (ed.): 1892, *Scientific Correspondence of Joseph Priestley*, New York.
- Brock, W.H.: 1992, *The Fontana History of Chemistry*, Harper Collins, London.
- Brock, W.H.: 2008, 'Joseph Priestley, Enlightened Experimentalist'. In I. Rivers and D.L. Wykes (eds) *Joseph Priestley: Scientist, Philosopher, and Theologian*, Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 49-79.
- Brooke, J.H.: 1990, "A Sower Went Forth": Joseph Priestley and the Ministry of Reform. In A.T. Schwartz and J.G. McEvoy (eds) *Motion Towards Perfection: The Achievement of Joseph Priestley*, Skinner House Books, Boston, MA, pp. 21-56.

- Cañal, P.: 1999, 'Photosynthesis and "Inverse Respiration" in Plants: An Inevitable Misconception?' *International Journal of Science Education* 21(4), 363-372.
- Cartwright, J.: 2004, *The Discovery of Oxygen: Student Guide*, Department of Chemistry, University of Chester, UK.
- Coley, N.G.: 1984, 'The Preparation and Uses of Artificial Mineral Waters (ca. 1680-1825)', *Ambix* 21, 32-48.
- Conant, J.B.: 1948, 'The Overthrow of the Phlogiston Theory: The Chemical Revolution of 1775-1789'. In J.B. Conant (ed.) *Harvard Case Histories in Experimental Science*, Harvard University Press, Cambridge, MA, pp. 67-115.
- Delaporte, E.: 1982, *Nature's Second Kingdom: Explorations of Vegetality in the Eighteenth Century*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Dybikowski, J.: 2008, 'Joseph Priestley, Metaphysician and Philosopher of Religion'. In I. Rivers and D.L. Wykes (eds) *Joseph Priestley: Scientist, Philosopher, and Theologian*, Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 80-112.
- Eisen, Y. and Stavy, R.: 1988, 'Students' Understanding of Photosynthesis', *The American Biology Teacher* 50(4), 208-212.
- Funkenstein, A.: 1986, *Theology and the Scientific Imagination: From the Middle Ages to the Seventeenth Century*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Gest, H.: 2002, 'History of the Word Photosynthesis and the Evolution of its Definition', *Photosynthesis Research* 73, 7-10.
- Gibbs, F.W.: 1967, *Joseph Priestley: Revolutions of the Eighteenth Century*, Doubleday, New York (first published as *Joseph Priestley: Adventurer in Science and Champion of Truth*, Thomas Nelson, London, 1965).
- Golinski, J.: 1999, *Science as Public Culture: Chemistry and Enlightenment in Britain, 1760-1820*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Graham, J.: 2008, 'Joseph Priestley in America'. In I. Rivers and D.L. Wykes (eds) *Joseph Priestley: Scientist, Philosopher, and Theologian*, Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 203-230.
- Guerlac, H.: 1957, 'Joseph Priestley's First Papers on Gases and Their Reception in France', *Journal of the History of Medicine* 12, 1-12.
- Heering, P. and Höttecke, D.: 2014, 'Historical-Investigative Approaches in Science Teaching'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1473-1502.
- Helmont, van J.B.: 1648, *Ortus Medicinæ*, Leyden. English translation by J. Chandler, Oriatrike, London 1662.
- Hume, D.: 1739/1888, *A Treatise of Human Nature: Being an Attempt to Introduce the Experimental Method of Reasoning Into Moral Subjects*, Clarendon Press, Oxford, UK.
- Irzik, G. (ed.): 2013, 'Commercialisation and Commodification of Science: Educational Responses', *Science & Education* 22(10).
- Jackson, J.: 2005, *World on Fire: A Heretic, an Aristocrat, and the Race to Discover Oxygen*, Penguin, New York.
- Kipnis, N.: 1992, *Rediscovering Optics*, BENA Press, Minneapolis, MN.
- Kipnis, N.: 1996, 'The "Historical-Investigative" Approach to Teaching Science', *Science & Education* 5(3), 277-292.
- Kitcher, P.: 2001, *Science, Truth, and Democracy*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Kuhn, T.S.: 1970, *The Structure of Scientific Revolutions*, 2nd edn, Chicago University Press, Chicago, IL (1st edition, 1962).
- Leicester, H.M.: 1956/1971, *The Historical Background of Chemistry*, Dover, New York.
- Lindberg, D.C. and Numbers, R.L. (eds): 1986, *God and Nature: Historical Essays on the Encounter between Christianity and Science*, University of California Press, Berkeley, CA.
- Lipton, P.: 1991, *Inference to the Best Explanation*, Routledge, London.
- McEvoy, J.G.: 1978-1979, 'Joseph Priestley, "Aerial Philosopher": Metaphysics and Methodology in Priestley's Chemical Thought from 1762-1781', Pt.I *Ambix* 25 1-255, Pt.II 93-116, Pt.III 1 53-175; Pt.IV 26 16-38.

- McEvoy, J.G.: 1990, 'Joseph Priestley and the Chemical Revolution: A Thematic Overview'. In A.T. Schwartz and J.G. McEvoy (eds) *Motion Toward Perfection: The Achievement of Joseph Priestley*, Skinner House Books, Boston, MA, pp. 129-160.
- McEvoy, J.G. and McGuire, J.E.: 1975, 'God and Nature: Priestley's Way of Rational Dissent', *Historical Studies in the Physical Sciences* 6, 325-404.
- Mach, E.: 1886/1986, 'On Instruction in the Classics and the Sciences'. In his *Popular Scientific Lectures*, Open Court Publishing Company, LaSalle, IL, pp. 338-374.
- McKie, D.: 1961, 'Joseph Priestley and the Copley Medal', *Ambix* 9(1), 1-22.
- Magiels, G.: 2010, *From Sunlight to Insight: Jan IngenHousz, the Discovery of Photosynthesis and Science in the Light of Ecology*, Brussels University Press, Brussels.
- Matthews, M.R.: 2009, 'Science and Worldviews in the Classroom: Joseph Priestley and Photosynthesis', *Science & Education* 18(6-7), 929-960.
- Miller, P. (ed.): 1993, *Priestley: Political Writings*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Misgeld, W., Ohly, K.P. and Strobl, G.: 2000, 'The Historical-Genetical Approach to Science Teaching at the Oberstufen-Kolleg', *Science & Education* 9(4), 333-341.
- Nash, L.K.: 1948, 'Plants and the Atmosphere'. In J.B. Conant (ed.) *Harvard Case Histories in Experimental Science*, 2 volumes, Harvard University Press, Cambridge, MA, pp. 325-436.
- Newman, W.R.: 2004, *Promethean Ambitions: Alchemy and the Quest to Perfect Nature*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Newton, I.: 1730/1979, *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*, Dover Publications, New York.
- O'Brien, P.: 1989, *Warrington Academy 1757-86*, Owl Books, Wigan, UK.
- Paley, W.: 1802/2006, *Natural Theology; or Evidence for the Existence and Attributes of the Deity Collected From the Appearances of Nature*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Passmore, J.A. (ed.): 1965, *Priestley's Writings on Philosophy, Science and Politics*, Collier Macmillan, London.
- Peirce, C.S.: 1931-1935, *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, Charles Hartshorne and Paul Weiss (eds) Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Peters, M.: 1995, 'Philosophy and Education "After" Wittgenstein'. In P. Smeyers and J.D. Marshall (eds) *Philosophy and Education: Accepting Wittgenstein's Challenge*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 189-328.
- Priestley, J. (ed.): 1775, *Hartley's Theory of the Human Mind, on the Principle of the Association of Ideas; with Essays Relating to the Subject of it*, J. Johnson, London.
- Priestley, J.: 1776/1775, *The History and Present State of Electricity, with Original Experiments*, 2nd edn, J. Dodsley, J. Johnson and T. Cadell, London; 3rd edition, 1775, reprinted Johnson Reprint Corporation, New York, 1966, with Introduction by Robert E. Schofield.
- Priestley, J.: 1772a, 'Observations on Different Kinds of Air', *Philosophical Transactions* 60, 147-264.
- Priestley, J.: 1772b, *Directions for Impregnating Water with Fixed Air, In Order to Communicate to it the Peculiar Spirit and Virtue of Pyrmont Water, and Other Mineral Waters of a Similar Nature*, J. Johnson, London. Reprinted in his *Experiments and Observations on Air*, Vol.2, 1775. The pamphlet was reprinted by the American Bottlers of Carbonated Beverages, Washington, DC, 1945.
- Priestley, J.: 1774-1786, *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, 6 volumes, Vol.1, 1774, J.J. Johnson, London.
- Priestley, J.: 1775-1777, *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, 2nd edn, 3 Vols, J. Johnson, London. Sections of the work have been published by the Alembic Club with the title *The Discovery of Oxygen*, Edinburgh, 1961.
- Priestley, J.: 1778, *A Free Discussion of the Doctrines of Materialism and Philosophical Necessity, In a Correspondence*

- between Dr. Price, and Dr. Priestley, J. Johnson & T. Cadell, London.
- Priestley, J.: 1786, *History of Early Opinions Concerning Jesus Christ, Compiled From Original Writers; Proving that the Christian Church Was at First Unitarian*, 4 volumes, Birmingham.
- Priestley, J.: 1806/1970, *Memoirs of Dr. J. Priestley to the Year 1795 Written by Himself, with a Continuation by his Son, J. Priestley*, 2 volumes, J. Lindsay (ed.), Philadelphia, PA. Reprinted Adams & Dart, Bath, 1970.
- Psillos, S.: 2004, 'Inference to the Best Explanation and Bayesianism'. In F. Stadler (ed.) *Induction and Deduction in the Sciences*, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 83-91.
- Radder, H. (ed.): 2010, *The Commodification of Academic Research*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, PA.
- Resnik, D.B.: 2007, *The Price of Truth*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Rivers, I. and Wykes, D.L. (eds): 2008, *Joseph Priestley: Scientist, Philosopher, and Theologian*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Rollin, B.E.: 2009, 'The Moral Status of Animals and Their Use as Experimental Subjects'. In H. Kuhse and P. Singer (eds) *A Companion to Bioethics*, Wiley-Blackwell, Singapore.
- Rutt, J.T. (ed.): 1817-1832/1972, *The Theological and Miscellaneous Works of Joseph Priestley*, 25 volumes, London. Reprinted by Kraus, New York, 1972.
- Schofield, R.E.: 1963, *The Lunar Society of Birmingham*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Schofield, R.E. (ed.): 1966, *A Scientific Autobiography of Joseph Priestley (1733-1804): Selected Scientific Correspondence*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Schofield, R.E.: 1970, *Mechanism and Materialism: British Natural Philosophy in an Age of Reason*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Schofield, R.E.: 1997, *The Enlightenment of Joseph Priestley: A Study of His Life and Work from 1733 to 1773*, Penn State Press, University Park, PA.
- Schofield, R.E.: 2004, *The Enlightened Joseph Priestley: A Study of His Life and Work from 1773 to 1804*, Penn State Press, University Park, PA.
- Schwartz, A.T.: 1990, 'Priestley's Materialism: The Consistent Connection'. In A.T. Schwartz and J.G. McEvoy (eds) *Motion Toward Perfection: The Achievement of Joseph Priestley*, Skinner House Books, Boston, MA, pp. 109-127.
- Scott, E.L.: 1970, 'The McBridean Doctrine of Air. An Eighteenth-Century Explanation of Some Biochemical Processes including Photosynthesis', *Ambix* 27, 43-57.
- Tang, W.T.: 2012, 'Building Potemkin Schools: Science Curriculum Reform in a STEM school', *Journal of Curriculum Studies* 44(5), 659-678.
- Uglow, J.: 2002, *The Lunar Men: Five Friends Whose Curiosity Changed the World*, Faber & Faber, London.
- Wandersee, J.H.: 1985, 'Can the History of Science Help Science Educators Anticipate Students' Misconceptions?', *Journal of Research in Science Teaching* 23(7), 581-597.
- Wandersee, J.H. and Roach, L.M.: 1998, 'Interactive Historical Vignettes'. In J.J. Mintzes, J.H. Wandersee and J.D. Novak (eds) *Teaching Science for Understanding. A Human Constructivist View*, Academic Press, San Diego, CA, pp. 281-306.
- Westfall, R.S.: 1980, *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Wykes, D.L.: 1996, 'The Contribution of the Dissenting Academy to the Emergence of Rational Dissent'. In K. Haakonssen (ed.) *Enlightenment and Religion: Rational Dissent in Eighteenth-Century Britain*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 99-139.
- Wykes, D.L.: 2008, 'Joseph Priestley, Minister and Teacher'. In I. Rivers and D.L. Wykes (eds) *Joseph Priestley: Scientist, Philosopher, and Theologian*, Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 20-48.
- Yolton, J.W.: 1983, *Thinking Matter: Materialism in Eighteenth-Century Britain*, University of Minnesota Press, Minneapolis.

本书的主题是HPS能够有效解决科学教学中的理论、课程与教学法问题，因而对HPS的一些研究应成为科学教师教育的有机组成部分。HPS为评估教育建构主义的优缺点所做的贡献也很好地阐述了这一主题。

作为一种知识与学习理论，建构主义对当代科学、数学教育有着重要的理论影响。同样，其后现代主义与解构主义形式对当代数学、文学、艺术、社会研究和宗教教育也产生了重大影响。除此之外在所有这些科目的理论纷争、课程建设及教学实践中，它的影响也极为显著。作为一种心理学、教育学和哲学导向，建构主义激发了以学习者为中心，以教师为引导，具有本土主义和“革新”特点的关于数学教育、自然拼读法和发现式学习的争论。1969年，麦克马斯特大学医学院兴起的“基于问题的学习（Problem-Based Learning, PBL）”课程与教学法广泛流行，而PBL的依据正是建构主义。20年间，PBL迅速传遍美国、英国、欧洲和澳大利亚的医疗培训机构（Colliver 2000, 2002, Neville 2009）¹。在尚未收集到任何实证证据表明经过PBL训练的学习者能够成为更好的医生之前，世界医学教育联合会（the World Federation of Medical Education, WFME）就采纳了PBL（Neville 2009, p. 1）。这与在科学和数学教学中正式采纳建构主义的模式具有高度一致性。正如《教师教育杂志》中一篇社论所讲：

“建构主义是教育界的新口号。它的流行源于它植根于各个学科，特别是科学哲学、心理学和社会学。建构主义教育观的启示依据其学科基础有所区别，但专业的教育团体是多样化的，诸如全国幼儿教育协会和全国数学教师协会等组织基于‘学习者不是被动地接受知识，而是基于自身经验去主动建构’这一假设来修订他们的实践标准。”

（Ashton 1992, p. 322）

建构主义的兴衰

20世纪80年代到90年代,无数的专业发展研讨会、会议报告、期刊论文与著作都清晰阐述了建构主义理论并对其教学法内涵进行了拓展。这里并不是要详细讲述教育中的建构主义历史²,但为了证明20世纪末期建构主义在教育理论中的统治地位,不得不提及几篇备受推崇的评论文章。

彼得·芬尚(Peter Fensham)认为,自1980年以来,对科学课程思维产生最显著心理学影响的是建构主义学习观(Fensham 1992, p. 801)。美国科学教学研究学会前任主席说:“在建构主义思想下,思维、研究、课程开发及教师教育正融为一体……缺乏对立的争论(Yeany 1991, p. 1)”。该组织的另一位前任主席写道:

“教育领域正进行着一场范式之争,冲突的证据几乎可见于教育实践的每个方面……(但)有证据表明,人们普遍接受了取代客观主义的其他思想,建构主义便是其中之一。”

(Tobin 1993, p. ix)

2000年,两位研究人员对建构主义在教育研究与实践中的影响进行量化研究。结果显示,教育资源信息中心(Education Resource Information Center, ERIC)数据库中的相关项目超过1,000个:

“由于大量材料是为老师准备或由老师开发的,这种数量上的增加可能来自互联网。在网上,‘建构主义+教育’有成千上万的点击量,点击量取决于所用的搜索引擎。”

(Davis & Sumara 2003, p. 409)

赖因德斯·杜伊特(Reinders Duit)和他在基尔大学的同事编写的关于“建构主义与研究”最新权威版本的参考书目可以在线获得,其中包括了1,000多个条目(Duit 2009)。对于参考书目,杜伊特说道:

“本研究的实施并没有超出所谓的建构主义观点——包括个人建构主义与社会建构主义。其参考书目在现在看来成了科学教育中建构主义研究的一个尝试。”

建构主义理论对教育方式的影响已大大超出了ERIC搜索中所记录的

研究期刊与学术会议的范围。在诸多国家和地区中，建构主义理论已成为官方的教学法理论，比如：加拿大的安大略省、泰国、希腊、土耳其、新西兰、印度、中国台湾、西班牙、西澳大利亚的澳大利亚及美国的一些州和学区；建构主义理论在北美教师教育课程中是极为普遍的。

尽管建构主义横扫先前所有的理论，但对建构主义的批判也很多。许多心理学家、哲学家、教育家、教师和家长等开始从多方面关注建构主义课程。一开始是来自外部的哲学批判³，最近的是对建构主义声称自己是成功教学法的先导的具体批判⁴。值得高兴的是，有迹象表明，至少“极端”或“激进”建构主义的影响正在减弱，而更现实、有限度并且基础更好的哲学和教学观点正以建构主义的名义兴起。一位著名的拥护者发表了一篇题为《教育中的建构主义继续前进》的文章（Tobin 2000）。同样，在医学院校，PBL也在继续优化发展。一位研究人员总结道：

“没有可靠的证据表明PBL教学法提高了知识储备和临床表现——至少没有达到PBL课程投入所预期的程度。”

所以且不说某种“世界观”，人们对某个教育项目——从“赢得范式战争的胜利”到“继续前进”所投入的热情从未超过20年。研究者们有必要去分析这种情况发生的原因，并从中汲取关于科学教育的教训。该领域需要克服一些陋习，比如刚刚了解一些哲学、心理学、政治理论就开始引进它们，抑或用盲目的热情代替本应关注的概念一致性和实验证据。

建构主义的不同形式

建构主义是一种多样化的行为。有观点认为，建构主义至少包括以下几方面：情境的、辩证的、经验的、信息加工的、方法论的、中庸的、皮亚杰理论的、后认识论的、实用主义的、激进的、现实主义的、社会的和社会历史性的（Good *et al.* 1993），还可以加上人文建构主义（Cheung & Taylor 1991）和说教式建构主义（van den Brink 1991）。从发展心理学开始，建构主义尽管并不成熟，但已拓展到教育研究的诸多领域。对建构主义范畴的关注可从以下科学教育文章的副标题中得知：“建构主义的学习观”、“建构主义的教学观”、“科学观”、“科学教育的目的”。

标”、“建构主义的课程观”和“课程发展的建构主义观点”(Bell 1991)。

一般而言,建构主义主要有两大学派。第一大学派是心理学建构主义,源于让·皮亚杰(Jean Piaget)的理论,他认为儿童的学习是通过日常活动逐渐建构自我、个体与知识的过程。这一学派又分化为两派:一派是更个人、主观的皮亚杰学派,可见冯·格拉塞斯费尔德(von Glasersfeld)的著作;另一派是俄国维果斯基(Vygotsky)及其追随者的社会建构主义,他们强调个体认知建构中语言交流的重要性,可见达克沃思(Duckworth 1996)、格根(Gergen 1994, 1999)与拉文(Lave 1988)的著作。

第二大学派是社会学建构主义,源于爱米尔·杜尔凯姆(Emile Durkheim),并由文化社会学家彼得·伯杰(Peter Berger)等以及近期爱丁堡学校的科学社会学家,如巴里·巴恩斯(Barry Barnes)、大卫·布卢尔(David Bloor)、亨利·科林斯(Harry Collins)及布鲁诺·拉图尔(Bruno Latour)等共同推广。这种社会学传统认为,科学知识是通过社会建构并得以证明的,它研究的是科学建构的环境和动态。与皮亚杰和维果斯基不同的是,它忽略了信念建构的个体心理机制,关注个体以外的社会环境,并声称社会环境决定个体信念的建构。对于该理论而言,个体变成了一个“黑匣子”。极端社会建构主义提出,科学只是一种人类认知的建构形式,同艺术和文学建构一样,对真理没有特殊要求,主流的理论只是主流科学家的理论⁵。

对很多人而言,建构主义已不只是一个学习理论或教育理论,它建构了一种世界观,或一种人生观⁶,正如评论所言:

“要成为一位建构主义者,就意味着要将建构主义作为思想和行动的指导。也就是说,进行思考和行动时,基于建构主义理论的信仰比其他信仰更有意义。由于种种原因,这一过程并不简单。”

(Tobin 1991, p. 1)

建构主义基础网站指明所有建构主义立场的共同特点如下⁷:

- 建构主义方法质疑笛卡尔哲学关于客观世界与主观经验的区分。
- 因此,他们要求科学解释中应有观察者的参与。
- 拒绝表象主义,即知识是一个系统性的认知过程,而不是一个反映客

观世界的主观认知结构。

- 建构主义方法论认为，通过认识来接近现实是无效的，现实是由话题提出的，而不是被动接受的。
- 建构主义方法论与现实间的关联是不可知的，鉴于现实超出我们的认知水平，应该避免任何与它相关的言论。
- 因此，研究的重点应从物质组成的世界转移到由什么物质组成的世界。
- 建构主义方法论注重自我指示和有组织的封闭系统，这种系统致力于控制信息的输入而不是信息的输出。
- 对于科学解释，建构主义方法论更喜欢过程导向的研究方法，而不是基于物质的角度。例如：生命系统被定义为由生命构成并维护自身组织的过程。
- 建构主义方法论强调“个体科学家”的研究方法，社会性被定义为社会相互作用框架内的相互适应。
- 最后，建构主义方法要求使用开放性的、不那么教条式的科学方法，以便激发建构主义应对当今科学前沿问题所需的灵活性。

应该明确的是，建构主义基础每一条内容的评估都需要具备一定的HPS能力，以上声明也主要是针对HPS的。哲学家认为，上述诸多观点难以理解，是错误的或有争议的。然而，许多教育者虽然对以上声明一无所知或理解错误，却仍将这些观点应用于教育体系、课程和教学实践。

建构主义作为心理学和哲学

建构主义的标准呈现形式既包含学习理论（心理学理论）又包含知识理论（哲学理论，特别是关于认识论的理论）。它是自发形成的复合理论。凯瑟琳·福斯诺特（Catherine Fosnot）在一本多次被引用的建构主义选集中给出了一种关于该理论的经典解释：

“建构主义是一个关于知识和学习的理论，它描述了什么是‘认知’以及一个人是怎样‘认知’的。基于心理学、哲学、科学和生物学著作，这个理论并没有把知识描述为可以传播和发现的真理，而是作为人类在文化与社会话语共同体中进行有意义的建构时自然发生发展的非客观的、切实可行的建构性解释。从这个角度看，学

习被视为一个自我调整的过程，该过程与现存世界的个体建构模型和有差异的新见解之间的冲突进行斗争，当人类构建的意义与文化发展的工具和符号合二为一时，就会对现实形成新的表征和模型，并通过合作性社会活动、研讨及实践共同体间的辩论对建构的意义进行进一步磋商。

尽管建构主义不是一个教学理论，但它仍会建议采用一种完全不同于大多数学校所使用的教学方法。”

(Fosnot 2005, p. ix)

建构主义作为学习理论（心理学）和知识理论（哲学）的复合体，其特点在教育建构主义奠基者皮亚杰、维果斯基、布鲁纳（Bruner）的论著中有明显体现。皮亚杰将自己的理论称为“发生认识论”，该哲学观点在他的《心理学和认识论》一书的标题中有所体现（Piaget 1972）。而杰罗姆·布鲁纳的著作《教育过程》（Bruner 1960）主要阐述了建构主义对说教式的、知识传播式的、充斥行为主义的“堆积”教学法的替代。谈及此书，他写道：

“其观点起源于认识论与认知科学……我相信所有人都会有同样的‘难以琢磨的认识论问题’，第一次对‘认知本质’的怀疑来自物理学的革命，随后被哲学正式化并加以详细阐述。”

(Bruner 1983, p. 186)

显然，任何一个对物理学革命认识论有影响的主张，对科学史学家与科学哲学家而言都是需要重点评价的，并且他们已经这样做了。教育者有必要投身于这一领域，至少要对其有大概的认识。

学习理论与认识论的建构主义联系长期不明确，认识到这一点是很重要的。建构主义的创始者把认识论看成哲学上的一种尝试，这种认识论为人类知识构成以及知识主张的比较与检测提供了依据。然而，许多后来的传统建构主义者却简单地将认识论归入心理学，尽管他们谈论的是获取知识的研究，而他们真正做的是获取信念的研究。这样的例子出现在安德烈亚斯·奎里（Andreas Quale）的新书《激进的建构主义》（Quale 2008）中。奎里认为，学习是我们获得知识的过程，知识是学习过程的产物（p. 45）。当然他认可柏拉图（Plato）以及大多数哲学传统

与共识性传统，即“学到的知识很可能是不正确的”（p. 45），但这并不会给他造成太大困扰，因为“这样的知识与真理的联系并不是建构主义产生的”（p. 45）。然而，仅仅用知识来鉴定学习不存在问题并不意味着真的没有问题。在儿童读物中，恐惧可能会因一个人蒙住孩子的眼睛而消失，但如此令人欣慰的事情很少发生在现实世界或哲学争论的世界中。

根据“安乐椅”心理学，一个人可以断言知识可以通过神经和心理过程获得，同样，愚昧也是这样获得的。学习是忠于事实的，同样，一个人可以学到好的或坏的习惯、合理的或不合理的观点、真实的或虚假的信仰。随着时间的推移，甚至可能现在大部分人对世界、社会、甚至对自己的认知都是错误的（想一下有多少人曾相信并仍然相信太阳围绕地球旋转；有多少美国公民相信特创论（**Special Creation**）；有多少美国公民相信伊拉克战争是为了传播民主；等等），而任何适当的学习理论都可以解释这个问题。

对于研究学习的心理学家而言，在巴基斯坦清真寺学习伊斯兰教，在犹太高等学院学习犹太教，在神学院学习罗马天主教都被看做是学习某一学科的案例。在所有案例中，学习特定内容时的神经、心理和行为过程都是相同的：学习伊斯兰教和学习基督教是相同的；成为一个共和党人和成为一个民主党人（或者说无论当地的政治选择是什么）的心理过程几乎是一样的；学习创世科学和学习达尔文科学的过程是一样的。心理学家作为学习理论家，不会专门去评价所学东西的真实性和充分性。作为临床心理学家可能会有这样的兴趣——希望他们有兴趣，但学习理论家无需对所学知识的认识论方面产生兴趣。

同样，教学理论也是良莠不齐：有秉承真理的好老师，同样也有坚持错误信仰的好老师；有信奉意识论的好老师，同样也有相信科学的好老师。而这些好老师的特征是相同的。我们不能指责戈培尔（**Goebbels**）是一个坏老师，因为虽然他教授的内容很糟糕，但他的教学却很好⁸。

然而对科学教育而言，心理学应当与哲学相联系并且包含哲学内容。在科学课堂中，教师要教授世界公认的真理，寻求理性的学习⁹。理解真理和理性的构成是哲学一直以来努力的方向，而HPS对教育者思考的问题做出了重要贡献。

证据的困境

对尝试用实证研究来证明他们理论的建构主义者来说，存在着一个明显的“证据的困境”。一方面，他们希望用认知现实（学习过程）和认识论现实（特别是科学史）的本质来支持他们对教学法、课程和认识论的提议。另一方面，他们又认为这种现实是不可知的，或者说是永远不可接近的。对很多建构主义者来说，现实坠落到完全主观的“我对现实的经验”¹⁰。

因此，一个拥护“社会变化建构主义”的研究者，支持一项由18名学生组成的中学科学方法班的研究立场，他提到：

“请注意，使用‘实验性证据’这个术语，并不意味着我站在现实主义者或者经验主义者的立场，也不意味着我有其他任何西方的趋向，我所说的‘实验性证据’的涵义是：知识是由社会建构的，是社会的一部分。我认为通过‘实验性证据’，信息可以被系统地收集并被各种方法论检验。因此在本研究中，我不会假装捕捉到了研究参与者的真实世界（现实主义），也不打算假装捕捉到了他们的经验世界（经验主义）。我所做的尝试是提供空间，不仅表达我自己的观点和声音，也让参与者们能够表达他们的观点和声音。”

(Rodriguez 1998, p. 618)

从这段言论中人们可以有一个大致认识，即没有“无可争议”的证据。但是，相比努力去获取更加充分的证据而言，作者却提出研究应该“提供空间给参与者，不仅表达我自己的观点和声音，也让参与者们能够表达他们的观点和声音”。作为教育研究的指导原则，这一点十分难懂并且肯定会给每个研究领域带来巨大的霍桑效应（Hawthorne effect）。事实上，如果没有霍桑效应，这个研究的（实证主义）可控性就会很低。人们可以理解当大量真正的问题出现时，资助机构是不会愿意为创建这样一个空间提供资金支持的¹¹。

不幸的是，这种神秘的科学认知却已经得到建构主义研究领域甚至教育研究领域的重视；而教育研究领域更是在伊冯娜·林肯（Yvonna Lincoln）和埃尔贡·古帕（Ergon Guba）广为流传的研究手册中得到确认（Guba and Lincoln 1989, Lincoln and Guba 1985）。有关第二点，作

者写道：

“建构主义范式为很多作者所拥护，且显现出能提供多种优势，包括利益相关者的授权与解放，以及定位后续课程的行动方向。这不仅是一篇有关评价理论的论述，古帕和林肯还全面描述了实证主义和建构主义研究范式之间的差异，并提供了一个进行第四代评价的可行性计划与过程。”

(Guber & Lincoln 1989, back cover)

建构主义认识论及其问题

建构主义强调，科学是在特定历史和文化条件下的一种创造性人类活动，其知识主张并不是绝对的。这非常值得一提，而对大多数科学哲学家和科学史学家而言，这一点更像是老生常谈。除此之外，建构主义还忠于某些广受争议和抵制的认识论立场，鉴于这些学说的教育学影响，它们往往需要经过严密审查。因此，从核心上讲，个人建构主义和社会建构主义都对人类知识和科学知识有着主观性和经验性的理解。作为在科学和数学教育中最具影响力的建构主义者之一，冯·格拉塞斯费尔德这样写道：

“知识是个体主观建构活动的结果，而非一种商品以某种方式存在于认知者之外，它可以靠细心感知或语言交流来传递或灌输。”

(von Glasersfeld 1990a, p. 37)

自柏拉图开始，没有人认为知识仅仅来源于观察，即使最细致的观察也不行。正如柏拉图所说，“我们通过眼睛看，而不是用眼睛发现”。同样的道理，知识可以而且必须通过语言交流来传递¹²。当一个人处于陌生的城镇，每一次询问怎么去咖啡馆或者洗手间时，知识通过语言从掌握它的本地人传递给对其并不了解的路人：“在第二个路口右转，再直走50米”。知道知识是“如何”通过语言传输的可能比较困难，但知道知识仅仅可以通过语言传输并不难¹³。一旦拒绝这个明显的事实，就意味着该个体可能已经陷入了某种意识形态中。

从各种渠道获取的一些信息可以让人了解到科学教育中建构主义者

所坚持的认识论和本体论立场。它们都是以学科为中心的知识经验主义理论的变体：

“尽管我们假设存在客观世界，但是我们不能直接接触客观世界。科学作为一种公共知识与其说是一项发现，倒不如说是一项审慎的建构。”

(Driver & Oldham 1986, p. 109)

“简而言之，建构主义本质上可以视为一种关于人类知识局限性的理论，一种关于所有知识都必然是我们认知行为的产物的信仰。对于任何外部或客观现实，我们没有直接的或不经媒介的认识。我们通过自身的经验来建构认知，而且这些经验的特性会受到我们认知视角的深刻影响。”

(Confrey 1990, p. 108)

史蒂文·莱尔曼 (Steven Lerman 1989) 继基尔帕特里克 (Kilpatrick 1987) 和早期冯·格拉塞斯费尔德之后，认为建构主义认识论的核心如下：

1. 知识是通过认知主体主动构建的，而非从环境中被动接受的。
2. 认知是一个适应的过程，该过程组成了一个人的经验世界；认知的过程并不是去发现独立存在于认识者心智以外的既存世界。

相对主义

所有的建构主义者都是认识论的相对主义者：否定一种观点或者理论比另一种观点或理论更“好”（“好”不可避免地被建构主义者加上强调的引号），或否认一种观点可能比另一种观点更真实，这些都符合建构主义的研究范畴¹⁴。这种相对主义是存在哲学问题的¹⁵。很显然，很多不同的事物对人而言都是有意义的，并且人们可以对一个特定的命题是否具有意义持不同看法。命题具有意义的方式与该命题的参照物没有关系，而命题的真实性并不是随意说说那么简单，它需要依据世界的状态以及我们对它的看法加以判定。因此，“有意义”是论证课程方案和裁定课程内容争论的一个不稳定因素。

此外，大多数的科学进步都得益于表面看起来没有意义的命题——如哥白尼的旋转地球理论、伽利略的质点和无色体、理论上无法用实验

检验的牛顿惯性定律（他的超距作用论亦是如此）、达尔文进化论的假说与化石记录存在偏差、爱因斯坦的能量守恒等等。事实上，正如我们所见，单摆运动已经证明，在科学教育中将“有意义”作为目标和评判标准是有问题的。在经典力学的理论模型中，物体在最高点是静止的，且具有重力加速度；而在最低点，具有切线方向上的最大速度，但其加速度的方向是垂直向上的。虽然这两个推论都没有产生直接意义，但人们根据它们创造了钟摆，同时也据此成功推测出了物体的摆动情况。在牛顿圆周运动的理论中，钟摆论是“有意义”的。但是这个理论并不是来源于感觉，它不是来自经验，而且与当下的经验相悖，并且只大致符合完善的实验经验。这就是为什么沃尔珀特（Wolpert）等人在评论时说道：“如果某些东西符合常识，那么我们几乎可以肯定它不是科学……宇宙的运作模式并不是常识的运作模式。”（Wolpert 1992, p. 11）

从建构主义的个人主义经验论出发产生的结果是对科学发展固有的社会方面属性的忽视。这不仅指个人因语言或概念储备而依赖他人，就科学而言，对科学不断的理解和启发共同进入一种科学传统——在这种传统下，质点和瞬时加速度都是有意义的。有价值的传统被后人传递，而不是每一代人都另起炉灶。但人们在选择传统中值得传播的部分并对其进行传递时，总会出现很多严重的教育问题。然而，只有意识到教育的学习维度，这些问题才会被提出进而得以解决。主观或心理建构主义只是模糊地认识到了这一点。社会建构主义则对此认识得更为清晰，但需要在知识的社会建构中强调认识论或规范性要素。

儿童的想法是个人的，但他们的观念是共同的。特定的想法是否会成为知识不是个人决定的事情。或者说，如果他们做了这样的决定，那么也是与公共标准相悖的。考虑到这点及其他一些方面，哈姆林（D. W. Hamlyn）提到：

“实际上，任何将孩子看成是企图发现世界真相的孤独探寻者的观点都必须予以否决（在这种情况下，‘真相’究竟是什么意思？）”

（Hamlyn 1973, p. 184）

教师通常是学生与公共标准的中介。没有这样的公共标准，“知识”就可以简化为“信仰”。什么构成了知识和什么使主张知识化属于重大的认

识论和重要的政治问题。在肤浅的个人关于知识的建构主义观点中，这些问题消失了。对社会建构主义来说，它们也在消失，只不过更慢一点：到底哪些社会团体的一致意见会使某一命题变成一种知识呢？

怀疑论

相对主义是一个难题，且对科学教师来说是非常严重的难题；但更为严重的是建构主义继续演变成彻底的怀疑论，它认为人类不能拥有任何关于自然及其结构或属性的知识。这不是怀疑某一特定的主张，而是全面怀疑和世界有关的所有论断。建构主义者坚持认为，我们无法直接接近现实，现实是永远隐藏的。举例来说，安东尼奥·贝当古（Antonio Bettencourt）这样解释：“建构主义，同理想主义一样，认为我们与事实本质存在认知隔离……我们的知识充其量不过是对现实转换的映射”（Bettencourt 1993, p. 46）。抛开对后半句的理解存在的问题，前半句中“认知隔离”能够在各种建构主义论著中找到共鸣。

对世界的认知隔离是恩斯特·冯·格拉塞斯费尔德激进建构主义的一个基本原则。他几乎所有的出版物都对这一观点加以肯定，并明确指出：

“为了真正了解世界，人们必须确定基于感知和观念形成的画面能够真实代表这个现实世界的各个方面。但为了保证更好地吻合，人们应当能够比较‘呈现出来’和‘应该呈现出来’之间的差别。然而无论如何人们都是做不到的，因为无法跳出人类感知和构思的方式。”

（von Glasersfeld 1995, p. 26）

菲利普·基彻（Philip Kitcher）将这个论断称为“现实不可知论”（Inaccessibility of Reality Argument, IRA）。他说：“IRA是具有强大自信心的反现实主义使用的恐怖武器”（Kitcher 2001, p. 156）。当然，它被许多哲学传统所利用，如：英国经验主义者、大陆理想主义者、逻辑实证主义者，以及最近的纳尔逊·古德曼（Nelson Goodman）、希拉里·帕特南（Hilary Putnam）和理查德·罗蒂（Richard Rorty）等人。因此，依赖于IRA的建构主义者拥有尊贵的血统。

然而，在哲学界同样也存在着对尊贵的IRA的反对者。1935年，莫里茨·施利克（Moritz Schlick）提出对立观点“常识实在论”。与他

的同伴卡纳普 (Carnap) 和纽拉斯 (Neurath) 等实证主义者不同, 他提到:

“我一直因维护‘能够与事实相比较的主张’而遭受指责, 我认罪, 我一直这样认为。但我抗议那些对我的惩罚, 我拒绝坐在形而上学学者所坐的位置。我常常将主张与事实进行比较, 所以我们没有理由认为它是无法完成的。例如, 在《入门手册》中我发现了这样一句论述: ‘这个教堂有两个尖顶’。我能够通过观察教堂来将这个论述与‘现实’进行比较, 而这种比较使我相信《入门手册》上的说法是对的。”

(Schlick 1935, p. 65-66, in Nola 2003, p. 146)

当然, 施利克“旅行者”的论点适用于以下领域。病毒、细菌、分子和许多微观实体曾经只是假设, 对于科学家和其他人来说的确是无法触及的。但是通过精密的技术, 学生在实验室中就能看到它们。这就如同游客穿过小镇就能看到施利克的教堂尖顶, 或者现在就可以观察到月球表面的细节一样。IRA的论点并不像建构主义者所说的那样“无可争辩”, 现在它也遭到质疑且被发现存在严重缺陷¹⁶。

建构主义本体论及其问题

建构主义者常常信奉理想主义本体论, 或信奉与科学和日常物品存在状态相关的唯心论, 也就是说, 他们从不同角度坚持认为世界由人类的思想创造并依赖于人的思想。受库恩 (Kuhn) 思想激励的科学社会学家多次声称, 不同的观察者生活在他们自己创造的不同“世界”之中。这些惊人的宣言忽略了一个主要的歧义: 一方面, 不同的观察者和不同的团体有不同的经验, 这一点是绝对真理; 另一方面, 他们所生活的世界对不同的观察者和不同的团体来说也各不相同。第二个方面并非真理, 此处有待争论。同样地, 声称不同的世界由观察者创造这一更加超前的言论也并非真理, 有待争议。肯尼思·格根 (Kenneth Gergen) ——一位颇具影响力的社会建构主义者这样说道: “这个‘世界’的建构形式是多样的, 而且世界也能够通过多种形式进行建构” (Gergen 1994, p. 82)。卡林·诺尔-塞蒂纳 (Karin Knorr-Cetina) 的构想如下:

“建构主义观念的主旨认为科学现实在不确定性和（自我指认的）建构性行为中逐渐变得明朗，而不是假设其符合现实中任何预先存在的秩序。”

（Knorr-Cetina 1983, p. 135）

教育理想主义

恩斯特·冯·格拉塞斯费尔德的激进建构主义是教育界最著名的理想主义的变体，他说：

“现实主义者相信他的构造是对独立存在的结构的复制或映射，而建构主义者仍然将经验者的角色看做是所有结构的起源……对建构主义者来说，除了认知者通过整合自己的点滴经验活动构造出的结构外，不存在任何其他结构。”

（von Glasersfeld 1987, p. 104）

现实主义者不需要做出任何关于“复制”和“映射”的解释，这在第九章中会详细阐述。他们确实提出了关于这个世界的一些主张，但他们也意识到“存在更多无法用眼睛看到的東西”，这些主张是社会、个人、文化环境的产物。

此外，冯·格拉塞斯费尔德写道：

“我不能把黑的说成是白的，更不能穿过在我面前的桌子。然而，在这两个例子中束缚我的并不是同一种东西。桌子是一种障碍物阻碍我身体的运动，是因为我身体的感官系统促使我做出这样特殊的区分，然后我用特殊的方式协调自己身体的运动。事实上，如果我现在能穿过桌子，那么这就不符合我通过先前经验所得到的抽象概念。”

（von Glasersfeld 1990b, p. 24）

显然，这种观点有明显的缺陷。对现实主义者而言，我们的身体无法穿过另一个物体与我们的感官能力无关，而与身体的组成和结构密切相关。对于穿过坚实的桌子这件事而言，改变我们的感官系统并不比换一件衬衫更有效。一旦死亡，我们会失去所有感觉能力，但这并不意味着我们

的身体可以穿过桌子。我们有没有感觉能力并不影响桌子的可穿透性，这种观点确实是一种哲学唯心主义。

约翰·斯塔韦尔 (John Staver) 是一位当之无愧的杰出科学教育家，他对本体论唯心主义立场做出了如下阐述：

“对于建构主义者而言，观察、对象、事件、数据、法律和理论都不是独立于观察者而存在的。自然现象的合法和必然的本质是作为描述者的我们的属性，而不是被描述物体的自然属性。”

(Staver 1998, p. 503)

同样，这一立场也是有缺陷的。显然，观察与理论都取决于我们，而不取决于被观察的对象或它们的结构，当一个作者将“观察结果”与“事件”和“观察对象”混为一谈时，哲学的警钟就应当响起。对现实主义者及任何严谨的科学家而言，这些分类都是有区分范畴的。只有哲学唯心主义者可以在没有警钟响起的情况下将这三者混为一谈，然而，当警钟响起的时候，唯心主义案例也需要被讨论，而不仅仅是假设。

一个很有影响力的知名科学教育家罗莎琳德·德赖弗 (Rosalind Driver) 曾多次肯定唯心主义立场。例如，她写道：

“科学作为公共知识，与其说是‘发现’，不如说是认真的‘建构’……反过来，科学家构建理论实体(磁场、基因、电子轨道……)来呈现‘现实’。”

(Driver 1988, p. 137)

这里的意思是：在地理物理学家提出地球结构之前，地球是没有结构的；在生物学家提出进化结构之前，动物世界是没有进化结构的；在物理学家提出原子结构前，原子是没有结构的，等等。有人会问：如果重力波是我们创造的，那为什么还要花那么多的时间和金钱去探索它们？

尽管德赖弗的基本论点是错误的，但它还是得到了广泛传播。它的论证形式是：

前提：一些概念是人类创造的。

结论：因此，概念所指的对象是不存在的。

人们只有通过这样的形式才能明白它是一个无效的推理，论证形式的有效性取决于一个明确的限制前提：

限制前提：所有人类创造的概念都是没有实物参考的。

但这种限制前提是教条的，因为它没有提供任何证据。不仅“电子轨道”、“磁场”是人类创造的，“我的房子”、“山”、“桌子”和其他我们使用的可观察的术语都是如此。如果上述罗莎琳德·德赖弗提出的广泛传播的建构主义观点是有效的，那么不仅电子轨道不存在，我们的房子、房子里的桌子以及我们周围的山也都不存在。事实上，鉴于人称代词“我”也是人类创造的，那么个体认知主体可能也不存在。这样的思想往往作为“哲学谬论”被摒弃。

社会唯心主义

本体论唯心主义被建构主义教育者所接受，并被另一种可与之相比较的唯心主义所鼓舞，这种唯心主义在新形势后默顿科学社会学家中，特别是与爱丁堡学派相关的社会学家中很常见¹⁷。颇具影响力的社会学家爱米尔·杜尔凯姆（Emile Durkheim）于1955年写道：

“如果想要解放思想，那么思想必须先要成为自己客体的创造者。而实现这一目标的唯一途径就是思想必须进行自我构建，变成现实。因此，思想的目的不是复制既定现实，而是建构未来的现实。由此，观念的价值不再参照其他物体进行评估，而是由它们的实用性和它们或多或少的‘优势特征’来决定。”

（Durkheim 1972, p. 251）

爱丁堡学派继续贯彻这种理想主义。拉图尔和伍尔加（Woolgar）曾说过，“存在性”是科学工作的结果，而非原因（Latour & Woolgar 1986, p. 182）。他们还说，现实是科学建构的结果，而不是科学建构的原因。并且他们声称：坚持科学“政治”和“真理”之间的区别会使我们什么都得不到（Latour & Woolgar 1986, p. 237）。爱丁堡学派的其他贡献者认为，这就像是在说行星是“文化产物”一样（Lynch *et al.* 1983）。亨利·科林斯说，在科学知识的建构中，自然世界扮演着微不足道或根本不存在

的角色。伍尔加拥护唯心主义，他这样论述他的研究项目：

“与民族方法学唯心主义立场一致，现实不能独立于用来理解现实的词汇（文字、标志、文档等）而存在。换句话说，现实是在话语中建构的或者是通过话语建构的。”

（Woolgar 1986, p. 312）

在这里人们可以看到，真实想法与理论对象之间、体力活动与智力活动之间模糊不清。所有现实主义者都承认现实不只在科学家或观察者的头脑中留下印记。很少有人无知地坚持知识的“反映”或“印迹”理论，并把它们归于教育课本。科学不是在处理真实对象本身，而是在处理被科学理论所描述的对象——在特定的加速度下，下落的彩球变成了质点，豌豆田变成了被描述的特定表型，不断冒气泡的溶液成为化学方程式，等等。大多数理论科学家和个体科学家付出脑力劳动，利用力、质量、基因、细胞、物种、平衡条件等概念来创建这些理论对象。事实上，这些理论是人为构建的，自然对象只是被当做理论的“外衣”，而这并不意味着真实对象是人类创造的，也不意味着被冠以概念结构的真实对象没有任何科学价值。

一般建构主义者会由“知识不是绝对的，是人类创造的，它与历史和文化紧密相连”这一论断转变为“知识的主张是毫无根据或相对主义的”这一结论。尤塞恩·博尔特（Usain Bolt）的冲刺能力无疑是受基因和文化影响的，单从这点我们无法得出“他不是世界上跑得最快的短跑运动员”这一结论，也无法认识到这不是一个绝对的命题（谁能知道我们周围是否存在“未被发现”和“未计时”的短跑运动员），这意味着我们不能自信地宣称博尔特比任何我们知道的人跑得都快。在体育中，符合情理的“谬误论”介于绝对主义与相对主义之间。在科学和其他大多数判断事件中也是如此。

20多年前，沃利斯·萨奇廷（Wallis Suchting）提出了一个具体的、哲学上的证据，逐字逐句地批判了当时非常流行的冯·格拉塞斯费尔德的建构主义观点，他认为：

“首先，很多学说被称为‘建构主义’……这一点是无法理解的。第二，就算在某种程度上能够理解……它也是十分混乱的。第三，

任何立场都缺少证据的支持……总之，这个所谓的科学哲学新时代远不是它声称的那样。稍微敏锐的耳朵就可以听到来自不同人诸如皮亚杰和库恩原始的、传统的主观经验主义熟悉的声音。”

(Suchting 1992, p. 247)

建构主义忽略了批判，继续前进。

建构主义教学法及其问题

大多数建构主义者都看到了建构主义学习和知识理论与教师的教学法之间的联系。建构主义学习理论已经应用到数学、文学和科学教学中。这就是建构主义被世界各地教师教育课程广泛采纳的原因。对于建构主义理论受到批判的情况，其中一种回应是：尽管这一理论的表述可能很不清晰，甚至可能有心理学和哲学上的问题，然而，建构主义教学法是有价值的，应该得到支持 (Grandy, 1997)。这个立场是可以理解的，但它建立在一个有争议的问题之上：建构主义教学法如何有效地应用于各学科、尤其是科学教学中？大量的研究表明，它其实并不是非常有效。

建构主义教学法的特征

现今有许多由建构主义引导、以学生为中心的教学法，包括项目式教学法、发现式学习法和探究式教学法。数学教育领域一位杰出的建构主义者告诉教师：

“在建构主义中，某个特定数学概念的潜在建构区取决于孩子对所学概念可能会做的修正，或者是在数学学习环境中互动交流的结果。”

(Steffe 1992, p. 261)

这个由三十四个英文单词组成的句子是典型的建构主义表达方式：显然，在这个建议可以“操作”或理解之前，需要增加更多的内容。两位在科学教育中颇有地位的建构主义者德赖弗和奥尔德姆 (Oldham) (1986) 对教学法建议进行了详细阐述，认为建构主义教学包含多个阶段或步骤：

1. 方向：在该阶段中，为了学习某个主题，给学生发展目标和动机的机会。
2. 启发：在该阶段中，学生自身对课程主题的想法变得更加清晰，

这可以通过各种各样的活动来完成，如小组讨论、设计海报或写作。

3. 观念重塑：这是建构主义课程模式的核心。它包括几个阶段：

- 阐明和交换想法，学生的思想或语言在与其它学生或老师的观点进行比较或发生冲突时变得更加敏锐；
- 根据上述讨论和说明来建构新想法，学生由此会发现解释现象或证据的方法有很多种；
- 评估新思想，无论是通过实验的方式还是通过对其含义进行思考的方式，学生都应该试着找到最好的方法来检验这些替代思想，在这个阶段学生或许会不满足自身现有的观念。

4. 思想的运用，给学生提供机会，让他们在各种熟悉的或全新的情境下运用自己成熟的思想；

5. 最后是复习阶段，在该阶段中要求学生通过对比课程开始和课程结束之后他们想法的不同来回顾他们的思想是如何改变的。

德赖弗和奥尔德姆把最后的复习阶段看做是“关于学习的学习”这一模式的重点，约瑟夫·诺瓦克（Joseph Novak）和鲍勃·戈文（Bob Gowin）（1984）称这一阶段是所有教学的一部分。也就是说，学生学习内容的时候，同时也是学习如何有效学习的过程，这被称为“元认知”（White & Gunstone 1989）。认识到这种“元认知”同时属于心理学（怎样最有效地学习？）和认识论（什么使得所学的内容变成知识）是很重要的。然而第二个维度常常被忽略或仅仅被设想。对它的关注可以在“个人认识论”的教育研究传统中体现¹⁸。

显然，这样的研究需要以哲学认识论传统为依据，否则就非常容易产生如下这种错误的主张（暂不考虑“也许”这类含糊其辞的修饰语）：

“建构主义的学习模式可能与具有深刻认识论的教师相关，某种传统观念的取向可能会反映教师所持有的朴素认识论，这些认识论与无所不知的权威和准确无误的知识相关联。”

（Chan & Elliot 2004, p. 819）

在其他地方，“认识论发展”的尺度被用来衡量特定教学法或干预措施的有效性，建构主义最终被贴上了“成熟”的标签，而现实主义最终被贴上了“不成熟”的标签（Guba & Lincoln 1989）！一些研究者可能

错把教化当成了教育，如果学生在常规的建构主义课程中没有发生转变，他们课上会让“现实主义”的学生详细“写下”建构主义的相关知识。

“如果认识论的发展在一定程度上受到年龄因素的影响，那么我们只需要等待学生成为建构主义者，成为认识论最成熟的拥护者……然而，简单地将学生置于一个隐含建构主义认识论的环境恐怕是不够的。”

(Roth & Roychoudhury 1994, p. 28)¹⁹

课程规划

德赖弗和奥尔德姆继续提到，建构主义课程规划者认为不能采用这种标准模式：课堂上学生被动地听，老师积极地讲，后者向前者传递某些内容。这里需要两个转变：不能把课程看做知识或技能的载体，而应该看做学生可以从中习得或建构知识和技能的课程；与此同时课程的定位也应有所转变，从优于教学的决定性位置（尽管在成年人之间是可以协商的）转变成能够接受质疑的定位。

这些评论说明建构主义存在一个问题：它经常会夸大自己。它利用学习过程和发展心理学（建构主义最初的核心）的言论，来建立更广泛的教育和社会地位。例如，课程不仅仅源于学习理论，学习理论或许指出了如何教，但是教什么、教多少、教给谁却需要从不同或更多方面进行思考。这些思考包括对社会的需求、个人的需求、不同知识或经验领域的相关优点，以及基于政治决策的判断。建构主义者经常忽视或者暗自假设，这样的思考是从学习理论外推到课程问题，而更普遍的是外推到教育理论。

例如，德赖弗和奥尔德姆主张人们不必太过关注课程发展中的难题。最初他们反对把课程看做知识或技能的载体，现在认为它是一个活动课程，学生可以从中习得或构建知识和技能，而这一过程并没有摒弃详述这些知识或技能的必要。政治家可能会说，它只是“将任务留到未来再解决”。认为课程处于被质疑的地位是一种非常含糊的表达。课程当中是否存在特定要素这一点是有疑问的，但这又是另一个真理，因为人们经常会讨论有关课程的内容——比如经济大萧条是否应写入历史课程？然

而，并不能由这个真理推断出特定内容是有问题的。几何是否应纳入高中数学可能存在问题，但不能仅凭这一点认为几何是有问题的。

其他建构主义者认可教育批判理论家的工作，如迈克尔·阿普尔（Michael Apple）、亨利·吉鲁（Henry Giroux）、彼得·麦克拉伦（Peter McLaren）等。例如简·吉尔伯特（Jane Gilbert）提到：“批判教学法中发展的文学与建构主义学习的文学有很多相似之处”（Gilbert 1993, p. 35）。这一点在一定程度上是由于批判理论家“质疑个人主义、效率、理性和客观性这些概念的价值，以及由这些概念发展形成的课程和教学法形式”（Gilbert 1993, p. 20）。

这就是为什么在科学教育领域里应对“不一致、低效性、无理性及主观性”等予以重视，而我们却从未被告知。但是，在广阔的教育界，对理论未经严厉批判就予以采纳这样的事经常发生。美国教育哲学协会（the US Philosophy of Education Society, PES）前主席弗朗西斯·施拉格（Francis Schrag）批判了吉鲁的工作：“吉鲁的文章既不尊重逻辑，也不尊重英语语言和它公开宣扬的民主主义”（Schrag 1988, p. 143）。施拉格提到，有一句话充分再现了吉鲁模式：

“在这种情况下，发言权的概念是伴随政治差异和团体发展的，而这并非简单地取决于多数人的胜利，而是人类社会的一种特定形式。这一形式鼓励并认为多数人的胜利是持续努力发展社会关系的一部分。在这一部分中，人们通过努力将不同的声音统一起来，以便识别和回忆人类共同的经历以及努力克服困难条件的需求。”

遗憾的是，这段话代表了很多建构主义者、后现代主义者、所谓的批判性教育论著——或它所轻视的可教论的观点，这是我们将在第十二章呈现的。这是知识分子的一种病态，而且一旦扩散则会变成常态。格雷沙姆（Gresham）法则的语言形态一旦运行，如索卡尔（Sokal）骗局这类暴行就变成可能。哲学对教育争论的贡献在于鼓励清楚的沟通，这至少可以让人们识别谬误和错误的推理，而不是一味地坚持蒙昧主义。具备有条理写作的能力，以及能够采用可理解的方式表达意见，应该是教育的基本成果之一。如果达不到这一点，那么几乎所有的努力都将付之东流。

科学内容的教学

许多科学教育者对如何按照建构主义原则教授科学知识很感兴趣。这些知识包含很多抽象内容（诸如速度、加速度、力、基因、矢量的概念），这些知识或者脱离于经验（诸如原子结构、细胞分化、天文知识），或者与前概念（诸如之前关于病毒、抗体、熔核、进化、电磁辐射的概念）没有联系，抑或是与常识不同，或与日常经验、期望和概念有所冲突。琼·所罗门（Joan Solomon）清楚地表达了这个问题：

“建构主义一直在回避对已建立知识体系的实际学习……学生会发现他们在以新的标准化方式使用词语：这些甚至从未被视为问题的问题，在需要学习和做准备时，在某种意义上又得到了解决。一段时间内，所有学生可能会感觉他们处在陌生的领域，闭上眼睛无法回想太多他们记忆中的领域来帮自己适应新的环境。”

（Solomon 1994, p. 16）

传授知识的过程本身不仅仅涉及教授概念，同时也涉及教授方法，以及一些方法论或方法原理。在“没有教师将这些传授给学生”的情况下如何来教授知识，这个问题有待进一步讨论。如果一个人没有通过某种方式对国际象棋的规则有所了解，他是不可能学会下象棋的，因为这些规则不是由个人捏造的。在学生提问象棋中的“车”是否可以斜着移动时，需要有人对他说“不”；这类知识可以而且必须由知道的人传授给不知道的人。

建构主义教学法的有效性

在建构主义者推崇的有效性或最低限度的指导方面，教学法一直受到教育研究者的质疑。关于读写教学，“阅读战”是这一研究必须公开面对的争论。建构主义发起的“整体语言教学法”和“恢复阅读能力”文化课程在无数研究与拼读教学法形成了鲜明对比。经过30年的研究，毋庸置疑的结论是：建构主义教学法对提高阅读能力的影响很小，且明显不如非建构主义教学法——拼读教学法成功。虽然学习说话是自然而然的事情，然而学习阅读并非自然的，需要接受明确的指导。

20年前，有清晰的记载表明，新西兰率先研发的建构主义主导的恢

复阅读能力课程（或“整体语言教学法”）并未取得成功，即便有成功的地方也是受到了“课堂外”作用的影响（Matthews 1995, Chapter 2）。但这些结果并没有阻止阅读改革横扫世界各地的小学，其创始人玛丽·克莱（Marie Clay）被授予爵位。不幸的是，这种改革浪费了数百万教师的时间，并摧毁了即便没有数百万也是成千上万学生的读写能力，但这种改革却依旧盛行²⁰。最近的新西兰国家报告根据这期间20年的研究得出了最终结论：

“三个相互关联的因素导致新西兰读写战略的失败：机械式的建构主义导向读写教育；入学时未能充分关注学生自身读写能力的差异；第一年读写教学的限制性政策。”

（Tunmer *et al.* 2013, p. 34）

同样的研究争论抛向了同等公开的“数学战争”，该研究也得到了相同的结果：受建构主义激励的数学教学使学生变得不懂数学（Geary 1995, Klein 2007）。一位心理学家评价了这项研究：

“目前指导美国教育实践的研究起源于对基本哲学主题的概述和批判，特别是关于数学教育的建构主义观点……同时，这些教育研究者大都忽略或排斥大量相关的心理学研究和理论。”

（Geary 1995, p. 31）

美国心理学会教育心理学分会前任主席、《教育心理学家》前任编辑、《教学科学》前任合作编辑理查德·迈耶（Richard Mayer），在综合了有关建构主义教学法的大量研究成果后得出结论——它是无效的，并说明只有当它脱离建构主义理论时才会见效（Mayer 2004），这是一个具有里程碑意义的研究。他的分析得到了基施纳（Kirschner）、斯威勒（Sweller）和克拉克（Clark）的肯定，他们在一篇综述文章中说道：

“半个世纪以来，对这一问题的研究有了大量确凿的证据，证明不加指导或最低程度的指导，其效果远不如专门设计的用于支持学习认知过程的指导。对大多数学习者来说，最低限度的指导不仅无效，对某些人来说甚至可能是有害的……在过去的半个世纪中，最有力的证据表明最低限度指导根本无法提高学生的能力，这与把一

个不会游泳的人从船里扔进深水中学习游泳其实并没有什么效果是一个道理。”

(Kirschner *et al.* 2006, p. 75)

这样的结论似乎是显而易见的，它取决于科学学科的性质。学习下棋的人必须从知道规则的人那里学习规则。学习者不能制定规则，也不能调整规则，即使他们头脑风暴的结论是“车”可以斜着走，也不意味着“车”真的可以这样移动。在象棋中，必须要了解哪些规则是允许的、哪些规则是禁止的，想要进一步提高下象棋的能力，不仅要了解规则，而且要依靠指导和实践，并观看优秀的选手如何应对类似的情况。学习科学也是如此。

赫希二世 (E.D. Hirsch Jr) 在他的著作《我们需要的学校》中，记录了建构主义在美国的影响并得出结论：

“总之，‘建构主义’已经成为守护发现式学习的神奇咒语，它比其他任何形式的建构式学习都更能得到心理学理论的支持。假设它受到支持表明我所谓的‘有选择地应用研究’的意义所在。”

(Hirsch 1996, p. 135)

建构主义的文化后果

建构主义蕴含了很多重要的教育和文化意义，然而很少有人认识到这一点，更不用说参与其中。所有的文化都会建立传统和认识，并在正式和非正式场合传递。这样的传统也是健康文化的标志。在意义构建上，每一代人无需完全重新开始。激进建构主义者由于其原则违背了文化传递，导致传统无用化。如果它被重视采纳，那么会对传统文化造成破坏。事实上任何传统的、健康的文化核心都是为了传播文化信仰和风俗民情。建构主义者坚持认为知识不能以这种方式来传播的观点显然是可笑的，也是对文化的破坏²¹。

另一方面，更为臭名昭著的是，几个世纪以来，人们都认为最严重的不公平和最大的罪恶是有意义的。比如，男尊女卑对许多人和许多社会来说过去是现在仍是极具意义的；生病是由恶灵附身所致对不计其数

的人来说也是很有道理的；特殊种族的智力低下对数百万人甚至包括一些先进的思想家来说也是十分合乎情理的；对久经世故的德国纳粹来说，把犹太人作为低等人并制定灭绝计划是有意义的；南非种族隔离是有意义的，就像直到最近还存在于美国公民中的种族歧视。在某些时间、某些地点被认为极具意义的滔天罪行和愚蠢行径还会不断发生。很显然，仅从“有意义”的角度还不足以驳倒这些观点。然而，从独立于人类欲望或权利而存在的真理和人权的角度，也许可以推翻这些观点和做法。当然，那些权力不大又处于边缘地位的群体的利益无法通过捍卫权力就是真理的观点得到支持，少数群体权利的提升可以通过坚持真理即是权力的观点来实现。迈克尔·德维特（Michael Devitt）认识到这些以及其他一些问题，他评论道：

“要说当代最危险的知识倾向，我有一个候选项，那就是建构主义。建构主义是康德的两个思想和20世纪相对主义的结合体。康德的两个思想：一是我们通过提出概念创造已知世界，二是独立世界（最多）不过是一个‘自在之物’，永远超出我们的理解范围……考虑到它在法国，在社会科学中、在文化领域、在一些总体上有意义但是混乱的政治运动中的角色，它引领了一场名副其实的‘制造世界’的流行风。建构主义攻击着能把我们从愚昧中拯救出来的免疫系统。”

（Devitt 1991, p. ix）

建构主义中的相对主义和主观主义尤其不适于处理当前世界中复杂的、跨社会的问题。在尝试解决迫切的环境、政治和社会问题时，需要长期运用理性思维，并摈弃利己主义——试想一下非洲、中东、印度次大陆、巴尔干地区以及其他一些地区的政治局势²²。卡尔·波普尔（Karl Popper）认识到建构主义具有社会腐蚀性，他提到：

“自由主义的信仰——一种认为法制、平等正义、基本权利、自由社会能够实现的信仰——在认识到‘法官并不是无所不知的，也会在事实上出错’之后还会存在……但是，认为法治、正义和自由能够实现的信仰，在接受了‘客观事实不存在’的认识论之后很难继续保持；不只在这种特殊情况下，在任何情况下都是如此。”

（Popper 1963, p. 5）

结论

本章指明了建构主义理论对科学教育理论和实践产生的巨大影响，并对建构主义者明确提出的认识论和本体论主张进行了评价。得出的一般结论是：有很多争论支持认识论和本体论的观点，但这些争论缺乏说服力。建构主义相当于是对标准的科学经验主义理论的重述，并存在很多广为人知的谬论。

然而，建构主义所支持的互动式的、反教条教学实践是无需摒弃的。冯·格拉塞斯费尔德承认：“好的教师在没有明确的理论知识的情况下，能够将这里提到的很多建议付诸实践，他们的方法是凭直觉，并且也取得了成功”（von Glasersfeld 1989, p. 138）。其他认识论和教育理论同样提出并要求实行人性化、参与性、互动性、反教条的知识教学，目的是发展批判能力和形成正确认识。显然，最好的建构主义教学法是可以脱离建构主义认识论的——苏格拉底（Socrates）、蒙田（Montaigne）、洛克（Locke）、普里斯特利（Priestley）、密尔（Mill）和罗素（Russell）便结合了建构主义教学法与非建构主义认识论。从苏格拉底开始，这些就被认为是最好的通识教育，正如苏格拉底一样，现实主义者和非怀疑论者也已经准备好挑战学生牢固坚守的信念，而这些信念通过大量常识性经验和根深蒂固的文化价值观得到增强。简而言之，人们早已在哲学和通识教育传统中认识到了建构主义的优点，而建构主义中那些新奇怪异的部分则会对教育和社会产生误导、带来危害。

注释

1. 昆士兰大学医学院的加里·尼文（Gary Niven）就PBL教学法及其理论上的缺陷撰写过一篇长篇博士论文。
2. 关于建构主义浪潮的兴衰、内部及外部动态有一篇综合性的历史解读，建构主义从20世纪70年代开始直到本世纪早期一直存在于教育界。限制性的历史观点可以参见Osborne（1996）、Phillips（1997b, 2000）和Solomon（1994）。
3. 请特别参见：Bowers（2007）、Grandy（1997）、Kragh（1998）、Matthews（1993, 2000）、McCarty和Schwandt（2000）、Nola（1997, 2003）、Phillips（1997a, 1997b, 2000）、Scerri（2003）、Slezak（2000, 2010, 2014）、Small（2003）以及Suchting（1992）。
4. 请特别参见Kirschner *et al.*（2006）、Mayer（2004）以及Tobias & Duffy（2009）所做的工作。
5. Slezak（1994a, 1994b）对社会建构主义的主张及科学教育隐含的争议与变革进行了调查与反驳。

6. 德国对“世界观”(world outlook)的表述与感觉、伦理以及个人和政治行为的联系更直接,不同于英国对“世界观”(worldview)消极、旁观的表述。
7. 来自建构主义基础网站: www.univie.ac.at/constructivism/journal。
8. 关于教学与教育之间的区别,参见Hirst(1971);关于教导的概念,参见Snook(1972)。
9. 关于“理性的学习”这一概念,参见Hamlyn(1973)。
10. 关于建构主义与经典经验主义之间的关系,参见Matthews(1993)和Suchting(1993)。
11. 参见NRC(2002)的工作。
12. 例如,可以参见Hamlyn(1978)。
13. 这种区别把它的现代形式归于Ryle(1949)。
14. 参见Bickhard(1997)和Niiniluoto(1991)。
15. 例如,可以参见Siegel(1987)、Norris(1997)和Nola(1988)的工作。
16. 特别参见Nola(2003)和Papayannakos(2008)。
17. 这些社会学家的唯心主义已经由Bunge(1991, 1992)进行了很好的调研。
18. 一些核心的研究包括:Burr和Hofer(2002)、Chinn和Malhotra(2002)、Hofer和Pintrich(1997)、Kuhn *et al.*(2000)以及Schommer(1994)。
19. 此案例由Matthews(1998)进行了详尽的讨论。
20. 关于这个主题有大量的文献资料,包括全世界各个政府的报告。通过考察,最终结论是学生需要接受直接的阅读教学指导,最终拼读教学法得以保留。这一点显然不能保证他们会去阅读,因为后者的实现还需要吸引人的阅读材料。
21. 切特·鲍尔斯(Chet Bowers)对建构主义的批判成为攻击西方帝国主义的工具(Bowers 2007)。关于这个主题,参见Taber(2009, pp. 148-160)。
22. 哈维·西格尔(Harvey Siegel)就这些主题撰写了文章,其中一篇论文的标题为《激进的教学法需要“保守”的认识论》(Siegel 1995)。

参考文献

- Ashton, P.T.: 1992, 'Editorial', *Journal of Teacher Education* 43(5), 322.
- Bell, B.F.: 1991, 'A Constructivist View of Learning and the Draft Forms I-5 Science Syllabus', *SAME Papers* 1991, 154-180.
- Bettencourt, A.: 1993, 'The Construction of Knowledge: A Radical Constructivist View'. In K. Tobin (ed.) *The Practice of Constructivism in Science Education*, AAAS Press, Washington, DC, pp. 39-50.
- Bickhard, M.H.: 1997, 'Constructivism and Relativisms: A Shopper's Guide', *Science & Education* 6(1-2), 29-42. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *Constructivism in Science Education: A Philosophical Examination*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1998, pp. 99-112.
- Bowers, C.A.: 2007, *The False Promises of Constructivist Theories of Learning: A Global and Ecological Critique*, Peter Lang, New York.
- Bruner, J.S.: 1960, *The Process of Education*, Random House, New York.
- Bruner, J.S.: 1983, *In Search of Mind: Essays in Autobiography*, Harper & Row, New York.
- Bunge, M.: 1991, 'A Critical Examination of the New Sociology of Science: Part 1', *Philosophy of the Social Sciences* 21(4), 524-560.
- Bunge, M.: 1992, 'A Critical Examination of the New Sociology of Science: Part 2', *Philosophy of the Social Sciences* 22(1), 46-76.
- Burr, J.E. and Hofer, B.K.: 2002, 'Personal Epistemology and Theory of Mind: Deciphering Young Children's Beliefs About Knowledge and Knowing', *New Ideas in Psychology* 20, 199-224.

- Chan, K.W. and Elliott, R.G.: 2004, 'Relational Analysis of Personal Epistemology and Conceptions About Teaching and Learning', *Teaching and Teacher Education* 20(8), 817-831.
- Cheung, K.C. and Taylor, R.: 1991, 'Towards a Humanistic Constructivist Model of Science Learning: Changing Perspectives and Research Implications', *Journal of Curriculum Studies* 23(1), 21-40.
- Chinn, C.A. and Malhotra, B.A.: 2002, 'Epistemologically Authentic Reasoning in Schools: A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks', *Science Education* 86, 175-218.
- Collins, H.M.: 1981, 'Stages in the Empirical Programmes of Relativism', *Social Studies of Science* 11, 3-10.
- Colliver, J.A.: 2000, 'Effectiveness of Problem-Based Learning Curricula: Research and Theory', *Academic Medicine* 75, 259-266.
- Colliver, J.A.: 2002, 'Constructivism: The View of Knowledge That Ended Philosophy or a Theory of Learning and Instruction?' *Teaching and Learning in Medicine* 14(1), 49-51.
- Confrey, J.: 1990, 'What Constructivism Implies for Teaching'. In R. Davis, C. Maher and N. Noddings (eds) *Constructivist Views on the Teaching and Learning of Mathematics*, National Council of Teachers of Mathematics, Reston, VA, pp. 107-124.
- Davis, B. and Sumara, D.: 2003, 'Constructivist Discourses and the Field of Education: Problems and Possibilities', *Educational Theory* 52(4), 409-428.
- Devitt, M.: 1991, *Realism and Truth*, 2nd edn, Basil Blackwell, Oxford, UK.
- Driver, R.: 1988, 'A Constructivist Approach to Curriculum Development'. In P. Fensham (ed.) *Development and Dilemmas in Science Education*, Falmer Press, New York, pp. 133-149.
- Driver, R. and Oldhan, V.: 1986, 'A Constructivist Approach to Curriculum Development in Science', *Studies in Science Education* 13, 105-122.
- Duckworth, E.: 1996, *The Having of Wonderful Ideas*, 2nd edn, Teachers College Press, Columbia University, New York (1st edition, 1987).
- Duit, R.: 2009, *Bibliography - STCSE*, www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html
- Durkheim, E.: 1972, *Selected Writings* (ed. and trans. A. Giddens), Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Fensham, P.J.: 1992, 'Science and Technology'. In P.W. Jackson (ed.) *Handbook of Research on Curriculum*, Macmillan, New York, pp. 789-829.
- Fosnot, C.T. (ed.): 2005, *Constructivism: Theory, Perspectives, and Practice*, 2nd edn, Teachers College Press, New York.
- Geary, D.C.: 1995, 'Reflections of Evolution and Culture in Children's Cognition: Implications for Mathematical Development and Instruction', *American Psychologist* 50(1), 24-37.
- Gergen, K.: 1994, *Realities and Relations: Soundings in Social Construction*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Gergen, K.: 1999, *An Invitation to Social Construction*, SAGE, London.
- Gilbert, J.: 1993, 'Constructivism and Critical Theory'. In B. Bell (ed.) *I Know About LISP But How Do I Put It into Practice: Final Report of the Learning in Science Project (Teacher Development)*, Centre for Science and Mathematics Education Research, University of Waikato, Hamilton, New Zealand.
- Good, R., Wandersee, J. and St Julien, J.: 1993, 'Cautionary Notes on the Appeal of the New "Ism" (Constructivism) in Science Education'. In K. Tobin (ed.) *Constructivism in Science and Mathematics Education*, AAAS, Washington, DC, pp. 71-90.
- Grandy R.E.: 1997, 'Constructivism and Objectivity: Disentangling Metaphysics from Pedagogy', *Science & Education* 6(1-2), 43-53. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *Constructivism in Science Education: A Philosophical Examination*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 113-123.
- Guba, E.G. and Lincoln, Y.S.: 1989, *Fourth Generation Evaluation*, SAGE, Newbury Park, CA.
- Hamlyn, D.W.: 1973, 'Human Learning'. In R.S. Peters (ed.) *The Philosophy of Education*, Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 178-194.
- Hamlyn, D.W.: 1978, *Experience and the Growth of Understanding*, Routledge & Kegan Paul, London.

- Hirsch, E.D.: 1996, *The Schools We Need and Why We Don't Have Them*, Doubleday, New York.
- Hirst, P.H.: 1971, 'What is Teaching?', *Journal of Curriculum Studies* 3(1), 5-18. Reprinted in R.S. Peters (ed.) *The Philosophy of Education*, Oxford University Press, Oxford, UK, 1973, pp. 163-177.
- Hofer, B.K. and Pintrich, P.R.: 1997, 'The Development of Epistemological Theories: Beliefs About Knowledge and Knowing and Their Relation to Learning', *Review of Educational Research* 67(1), 88-140.
- Kilpatrick, J.: 1987, 'What Constructivism Might Be in Mathematics Education'. In J.C. Bergeron, N. Herscovics and C. Keiran (eds) *Psychology of Mathematics Education*, Proceedings of the Eleventh International Conference, Montreal, pp. 3-27.
- Kirschner, P., Sweller, J. and Clark, R.E.: 2006, 'Why Minimally Guided Learning Does Not Work: An Analysis of the Failure of Discovery Learning, Problem-Based Learning, Experiential Learning and Inquiry-Based Learning', *Educational Psychologist* 41(2), 75-96.
- Kitcher, P.: 2001, 'Real Realism: The Galilean Strategy', *The Philosophical Review* 110(2), 151-197.
- Klein, D.: 2007, 'A Quarter Century of US "Math Wars" and Political Partisanship', *Journal of the British Society for the History of Mathematics* 22(1), 22-33.
- Knorr-Cetina, K.: 1983, 'The Ethnographic Study of Scientific Work: Towards a Constructivist Interpretation of Science'. In K. Knorr-Cetina and M. Mulkay (eds) *Science Observed: Perspectives on the Social Study of Science*, SAGE, London, pp. 115-140.
- Kragh, H.: 1998, 'Social Constructivism, the Gospel of Science and the Teaching of Physics', *Science & Education* 7(3), 231-243. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *Constructivism in Science Education: A Philosophical Examination*, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 125-137.
- Kuhn, D., Cheney, R. and Weinstock, M.: 2000, 'The Development of Epistemological Understanding', *Cognitive Development* 15, 309-328.
- Latour, B. and Woolgar, S.: 1986, *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*, 2nd edition, SAGE, London (1st edition, 1979).
- Lave, J.: 1988, *Cognition in Practice: Mind, Mathematics and Culture in Everyday Life*, Cambridge University Press, New York.
- Lerman, S.: 1989, 'Constructivism, Mathematics, and Mathematics Education', *Educational Studies in Mathematics* 20, 211-223.
- Lincoln, Y.S. and Guba, E.G.: 1985, *Naturalistic Inquiry*, SAGE, Newbury Park, CA.
- Lynch, M., Livingstone, E. and Garfinkel, H.: 1983, 'Temporal Order in Laboratory Work'. In K.D. Knorr-Cetina and M. Mulkay (eds) *Science Observed*, SAGE, London, pp. 205-238.
- Matthews, M.R.: 1993, 'A Problem With Constructivist Epistemology'. In H.A. Alexander (ed.) *Philosophy of Education* 1992, US Philosophy of Education Society, Urbana, IL, pp. 303-311.
- Matthews, M.R.: 1995, *Challenging New Zealand Science Education*, Dunmore Press, Palmerston North, New Zealand.
- Matthews, M.R.: 1998, 'In Defence of Modest Goals for Teaching About the Nature of Science', *Journal of Research in Science Teaching* 35(2), 161-174.
- Matthews, M.R.: 2000, 'Constructivism in Science and Mathematics Education'. In D.C. Phillips (ed.) *National Society for the Study of Education 99th Yearbook*, National Society for the Study of Education, Chicago, IL, pp. 161-192.
- Mayer, R.E.: 2004, 'Should There Be a Three-Strikes Rule Against Pure Discovery Learning? The Case for Guided Methods of Instruction', *American Psychologist* 59(1), 14-19.
- McCarty, L.P. and Schwandt, T.A.: 2000, 'Seductive Illusions: von Glasersfeld and Gergen on Epistemology and Education'. In D.C. Phillips (ed.) *Constructivism in Education: 99th Yearbook of the National Society for the Study of Education*, NSSE, Chicago, IL, pp. 41-85.
- Neville, A.J.: 2009, 'Problem-Based Learning and Medical Education Forty Years On: A Review of Its Effects on

- Knowledge and Clinical Performance', *Medical Principles and Practice* 18, 1-9.
- Niiniluoto, I.: 1991, 'Realism, Relativism and Constructivism', *Synthese* 89(1), 135-162.
- Nola, R. (ed.): 1988, *Relativism and Realism in Science*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Nola, R.: 1997, 'Constructivism in Science and in Science Education: A Philosophical Critique', *Science & Education* 6(1-2), 55-83. Reproduced in M.R. Matthews (ed.) *Constructivism in Science Education: A Philosophical Debate*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1998, pp. 31-59.
- Nola, R.: 2003, "'Naked Before Reality; Skinless Before the Absolute": A Critique of the Inaccessibility of Reality Argument in Constructivism', *Science & Education* 12(2), 131-166.
- Norris, C.: 1997, *Against Relativism: Philosophy of Science, Deconstruction and Critical Theory*, Blackwell, Oxford, UK.
- Novak, J.D. and Gowin, D.B.: 1984, *Learning How to Learn*, Cambridge University Press, New York.
- NRC (National Research Council): 2002, *Scientific Research in Education*, R.J. Shavelson and L. Towne (eds), National Academy Press, Washington, DC.
- Osborne, J.: 1996, 'Beyond Constructivism', *Science Education* 80(1), 53-82.
- Papayannakos, D.P.: 2008, 'Philosophical Skepticism not Relativism is the Problem with the Strong Programme in Science Studies and with Educational Constructivism', *Science & Education* 17(6), 573-611.
- Phillips, D.C.: 1997a, 'Coming to Terms With Radical Social Constructivisms', *Science & Education* 6(1-2), 85-104. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *Constructivism in Science Education: A Philosophical Examination*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 139-158.
- Phillips, D.C.: 1997b, 'How, Why, What, When, and Where: Perspectives on Constructivism in Psychology and Education', *Issues In Education* 3(2), 151-194.
- Phillips, D.C.: 2000, 'An Opinionated Account of the Constructivist Landscape'. In D.C. Phillips (ed.) *Constructivism in Education*, National Society for the Study of Education, Chicago, IL, pp. 1-16.
- Piaget, J.: 1972, *Psychology and Epistemology: Towards a Theory of Knowledge*, Penguin, Harmondsworth, UK.
- Popper, K.R.: 1963, *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*, Routledge & Kegan Paul, London.
- Quale, A.: 2008, *Radical Constructivism. A Relativist Epistemic Approach to Science Education*, Sense Publishers, Rotterdam, The Netherlands.
- Rodriguez, A.J.: 1998, 'Strategies for Counterresistance: Toward Sociotransformative Constructivism and Learning to Teach Science for Diversity and for Understanding', *Journal of Research in Science Teaching* 35(6), 589-622.
- Roth, M.-W. and Roychoudhury, A.: 1994, 'Physics Students' Epistemologies and Views About Knowing and Learning', *Journal of Research in Science Teaching* 31(1), 5-30.
- Ryle, G.: 1949, *The Concept of Mind*, Hutchinson, London.
- Scerri, E.R.: 2003, 'Philosophical Confusion in Chemical Education Research', *Journal of Chemical Education* 80(20), 468-474.
- Schlick, M.: 1935, 'Facts and Propositions', *Analysis* 2(5), 65-70.
- Schommer, M.: 1994, 'Synthesizing Epistemological Beliefs Research: Tentative Understandings and Provocative Confusions', *Educational Psychology Review* 6(4), 293-319.
- Schrag, F.: 1988, 'Response to Giroux', *Educational Theory* 38(1), 143-144.
- Siegel, H.: 1987, *Relativism Refuted*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Siegel, H.: 1995, 'Radical Pedagogy Requires "Conservative" Epistemology', *Journal of Philosophy of Education* 29(1), 33-46. Reproduced in his *Rationality Redeemed? Further Dialogues on an Educational Ideal*, Routledge, New York, 1997.
- Slezak, P.: 1994a, 'Sociology of Science and Science Education: Part I', *Science & Education* 3(3), 265-294.
- Slezak, P.: 1994b, 'Sociology of Science and Science Education. Part 11: Laboratory Life Under the Microscope', *Science & Education* 3(4), 329-356.

- Slezak, P.: 2000, 'A Critique of Radical Social Constructivism'. In D.C. Phillips (ed.) *Constructivism in Education: 99th Yearbook of the National Society for the Study of Education*, NSSE, Chicago, IL, pp. 91-126.
- Slezak, P.: 2010, 'Radical Constructivism, Epistemology and Dynamite', *Constructivist Foundations* 6(1), 102-111.
- Slezak, P.: 2014, 'Constructivism in Science Education'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1023-1055.
- Small, R.: 2003, 'A Fallacy in Constructivist Epistemology', *Journal of Philosophy of Education* 37(3), 483-502.
- Snook, I.A. (ed.): 1972, *Concepts of Indoctrination*, Routledge & Kegan Paul, London.
- Solomon, J.: 1994, 'The Rise and Fall of Constructivism', *Studies in Science Education* 23, 1-19.
- Staver, J.: 1998, 'Constructivism: Sound Theory for Explicating the Practice of Science and Science Teaching', *Journal of Research in Science Teaching* 35(5), 501-520.
- Steffe, L.P.: 1992, 'Schemes of action and operation involving composite units', *Learning and Individual Differences* 4, 259-309.
- Suchting, W.A.: 1992, 'Constructivism Deconstructed', *Science & Education* 1(3), 223-254. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *Constructivism in Science Education: A Philosophical Examination*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1998, pp. 61-92.
- Taber, K.S.: 2009, *Progressing Science Education: Constructing the Scientific Research Programme Into the Contingent Nature of Learning Science*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Tobias, S. and Duffy, T. (eds): 2009, *Constructivism Theory Applied to Instruction: Success or Failure?* Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ.
- Tobin, K.: 1991, 'Constructivist Perspectives on Research in Science Education'. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Lake Geneva, WI.
- Tobin, K. (ed.): 1993, *The Practice of Constructivism in Science and Mathematics Education*, AAAS Press, Washington, DC.
- Tobin, K.: 2000, 'Constructivism in Science Education: Moving On'. In D.C. Phillips (ed.) *Constructivism in Education*, National Society for the Study of Education, Chicago, IL, pp. 227-253.
- Tunmer, W.E., Chapman, J.W., Greaney, K.T., Prochnow, J.E. and Arrow, A.W.: 2013, *Why the New Zealand National Literacy Strategy has Failed and What can be Done About It*, Massey University Institute of Education, Massey, New Zealand.
- van den Brink, J.: 1991, 'Didactic Constructivism', In E. von Glasersfeld (ed.) *Radical Constructivism in Mathematics Education*, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 195-227.
- von Glasersfeld, E.: 1987, *Construction of Knowledge*, Intersystems Publications, Salinas, CA.
- von Glasersfeld, E.: 1989, 'Cognition, Construction of Knowledge and Teaching', *Synthese* 80(1), 121-140.
- von Glasersfeld, E.: 1990a, 'Environment and Communication'. In L.P. Steffe and T. Wood (eds) *Transforming Children's Mathematics Education: International Perspectives*, Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, pp. 30-38.
- von Glasersfeld, E.: 1990b, 'An Exposition of Constructivism: Why Some Like It Hot'. In R. Davis, C. Maher and N. Noddings (eds) *Constructivist Views on the Teaching and Learning of Mathematics*, National Council of Teachers of Mathematics, Reston, VA, pp. 19-30.
- von Glasersfeld, E.: 1995, *Radical Constructivism. A Way of Knowing and Learning*, The Falmer Press, London.
- White, R.T. and Gunstone, R.F.: 1989, 'Metalearning and Conceptual Change', *International Journal of Science Education* 11, 577-586.
- Wolpert, L.: 1992, *The Unnatural Nature of Science*, Faber & Faber, London.
- Woolgar, S.: 1986, 'On the Alleged Distinction between Discourse and Praxis', *Social Studies of Science* 16, 309-317.
- Yeany, R.H.: 1991, 'A Unifying Theme in Science Education?', *NARST News* 33(2), 1-3.

科学哲学与科学教育的核心问题

——实在论与反实在论

很多科学提出的基本哲学问题，也可以在科学课堂中提出来。其中一些科学问题的哲学特征，已经在本书第四章论述“形而上学与大气压”、第五章论述“课堂中的哲学”、第六章论述“单摆运动”以及第七章论述“普里斯特利（Priestley）与光合作用”的时候探讨过，并将在第十一章“科学的本质”探讨其他部分。令人高兴的是，哲学无需被带入科学课堂——因为它已经存在于科学课堂；学生自身可以理解科学的哲学维度，并采用哲学的思考方式，以便对哲学进行识别和探讨；哲学对教师来说并非额外的负担，它本身就是教师所教科目的一部分。任何科学哲学的教材、文集或者百科全书都会有关于以下内容的章节：理论变革、实验研究、理想化、科学革命、定律、归约、比喻、类比、模型、因果关系、说明、价值观、方法论、观察、真理、近似真理，等等。当在课堂中教授类似进化论、遗传学、氧化作用、力学、相对论、电学、古生物学和光合作用等日常主题时，这些哲学特征就能得以识别与阐述。当学生开展调查、进行实验、收集数据、提出及评价假设等时，这些特征或方面就得以恰当地展现。

同样，哲学也出现在教师、课程编写者以及管理者参与研究的大多数理论问题中：宗教信仰、多元文化论、学科结构等。上一章谈到的建构主义正是这些理论问题中的一个，它自发地引出了一个贯彻整个科学史的核心哲学问题，并瞄准了科学本质的教学内容，即“实在论者与反实在论者关于科学目标的争论”，以及关于“用以解释事件和现象的科学理论中所假定的理论实体的实在性与可知性的争论”。这个根本性的争论引起了科学哲学中许多其他争论的共鸣，并在科学教育的舞台上频频上演，实在论者和反实在论者双方的阵营里都有声名显赫的研究者和教师。教师和学生都可以通过展现科学哲学维度的方式，理解并参与这一讨论。

实在论者与反实在论者的分歧

实在论者最基本的信念是认为世界和我们对世界的了解是截然不同的两件事。我们怎样认知事物和事物本身是相同的。人不是万物的尺度——普罗塔哥拉(Protagoras)也许没有这样说过。巴斯·范弗拉森(Bas van Fraassen)为实在论提供了如下简明的定义:

“科学的目标是通过其理论,给我们描述一个确切真实的世界。接受某个科学理论就意味着相信它的真实性。”

(van Fraassen 1980, p. 8)

需要注意的是,这里展开的讨论是关于科学实在论与反实在论的,而不是关于哲学唯心主义和怀疑主义中所说的“全面”反实在论。唯心主义主张,没有任何事物是真正超越认知主体而存在的,外部世界是一种幻象。怀疑主义主张,“客观事实”是存在的(如建构主义者通常所说),但我们无法感知这一事实,甚至可感知世界(例如桌子、椅子、树木)也永远超越我们的认知。所有科学家和绝大多数的科学哲学家都反对这些彻底反实在论的观点,科学教师们也不支持这些观点。然而,一些科学家以及许多有声望的科学哲学家是维护科学反实在论的,本章将会对这一观点进行评价。同样需要注意的是,科学理论是否能够告诉我们世界是什么——这是核心的、或许也是唯一的争论。这些争论是关于解释性的、不可观察的、理论的建构和实体,如磁场、电子、万有引力等。哲学论证通常并不是可见的科学主张,至少不是直接与数据和测量读数相关,而是对它们的解释。

认识到实在论中存在“维特根斯坦派”(Wittgensteinian)大有裨益¹,他们的共性如下:

- 本体论层面,承认世界的真实性和独立性,包括不可观察的事物在内的外部事物、事件独立于认知主体而存在;
- 语文学层面,承认科学主张和外部事物、事件的联系,科学是关于世界的主张;
- 认识论层面,即科学针对可观察世界、不可观察世界的实体和过程,提出了一些真实或者近乎真实的主张,前者是普通视觉所能观察到的日常世界(台球、鱼、云等),后者是由工具和推理呈现出的世界(分

子、原子、磁场、蛋白质等)；

- 价值论层面，承认科学的目的是提出关于真实世界的陈述和理论，其他目的——如公共事业或经济收益都是次要的，这些目的只是真实世界的副产品²。

同样，由于实在论者反对本体论、语义学、认识论和价值论中的某个或全部主张，有时也出于其他原因，反实在论者达成了一致立场。反实在论家族包括实证主义、经验主义、工具主义、建构主义、建构经验主义、唯心主义，当然还有所有的后现代主义流派。反实在论者相信，科学知识受限于经验世界或感知现象，任何超越经验的理论假设实体必须被看做是协调感知或观察现象的助手、工具、模型或启发装置，但它们并非真实存在。进一步说，科学的目的是提出可以预测现象、可以简练准确地联系经验的理论。

关于实在论者和反实在论者立场的详细阐述、细化和辩护可以阅读注释里的参考文献。为与本书所有的方法论保持一致，此处的争论将选用科学教师熟悉的、教材和课程中普遍使用的历史案例来进行详细阐述³。从古代天文学的水晶球宇宙体系之争，到红衣主教贝拉尔米内(Bellarmino)支持伽利略(Galileo)工具主义的观点，再到牛顿学说追随者与笛卡尔思想追随者之间关于万有引力真实性的激烈争论，以及同样激烈的18世纪关于热量等无重量流体是否存在的争论、19世纪恩斯特·马赫(Ernst Mach)等参与的关于原子是否真实存在的争论，再到实在论者爱因斯坦(Einstein)与工具论者玻尔(Bohr)对哥本哈根量子力学解释的争论，实在论者与反实在论者对科学理论解释的抗衡问题，始终处于关于科学的哲学争论的中心位置。

天文学：天体如何运动

所有的人类社会，自形成起便开始寻求对宇宙构造的认识——恒星、行星、太阳、月亮、彗星，等等。这种认识混合了宗教、形而上学、宇宙学、神话、占星术和天文学(用现代术语进行大致描述)等多种元素。在大多数社会里，这些元素是一起出现的，但在不同的时间、不同的地点，其中某个元素可能或多或少占据主导地位。天文学史作为一门普通的学校科目——至少对太阳系从日心说到地心说的转变这一理解而

言——为展现实在论者和反实在论者对科学认识的根本差异提供了绝佳的思路（此外，还有数学与技术科学中的作用、对人类观察的“解释”、科学中权威与真理的冲突来源等众多反复出现的主题）。美国科学促进会（**American Association for the Advancement of Science, AAAS**）在《面向全体美国人的科学》中介绍天文学时这样写道：

“站在地球上观察，地球好像是静止不动的，而别的东西都围绕地球运转。因此，在古代，人们推想宇宙运转原理时，以这种显而易见的真理开始是很有意义的。古希腊思想家，特别是亚里士多德（**Aristotle**）创立了一个运转模式，一直沿用了2,000年。这个模式为：一个很大的、静止的地球处于宇宙的中心，地球的四周围绕着太阳、月亮和小星星。它们分布在一个正圆形的轨道上，所有这些物体都以恒定的速率沿着正圆形轨道旋转。”

（AAAS 1989, p. 112）

这是一幅美丽且令人满意的关于宇宙的感知图像，但是古代的自然哲学（或者说早期科学）一直在推测宇宙运转的原因和机制。这正是实在论者和反实在论者产生分歧的地方。

柏拉图的经验论和亚里士多德的实在论

古代关于行星动力学（或者说行星运动机制）的争论，被视为旷日持久的实在论者与反实在论者对科学认识之争的开端。阿那克西曼德（**Anaximander**）（约公元前488—428年）、欧多克索斯（**Eudoxus**）（约公元前409—356年）、卡里普斯（**Callippus**）（约公元前370—300年）和亚里士多德（约公元前384—322年）先后提出将按规律运转的星球置入一个旋转的透明的星球内，并保持这些星球之间、星球与地球之间以及与其他星球之间的平稳运动和固定距离，而水晶球最外面的一层即为世界的极限。逆行、“加速运动”和“减速运动”是由于球的数目增加所导致的，欧多克索斯假设有26个球层，卡里普斯假设有33个球层，亚里士多德假设有47个球层，以便与更多的天文学观测结果相吻合⁴。这些日益复杂的机制是为了满足“拯救现象”（即从地球所观测到的天体运动现象）的需求。

关于前亚里士多德学派如何真实地解释“假设球层”，在学术界曾有过许多争论，伴随着亚里士多德的著作《形而上学》和《论天》的问世，这些球体被赋予了实体存在的属性，它们是由永恒不变的第五元素——以太构成的。这就是后来自然哲学所说的“水晶球”。这些球体当然需要它们自己的动力，即亚里士多德所说的“第一推动力”，后来这一推动力被认为是希腊基督教传统中的上帝⁵。

然而，天文学实在论也受到了来自反实在论的挑战。柏拉图（Plato）使关于自然哲学的反实在论解释合法化。这点可由新柏拉图主义者辛普利丘斯（Simplicius）（公元490—560年）的注释得知。他是这样评价柏拉图的：

“他（柏拉图）提出了天体运动的规律是匀速圆周运动。随即他又向数学家提出下述问题：什么样的规律性匀速圆周运动，才能符合行星运动所呈现的形式，从而使假说被大家接受？”

（Duhem 1908/1969, p. 5）

柏拉图给天文学家和数学家提出了这样一个问题：什么模型符合且能够预测天体运动现象？这些现象包括太阳的东升西落、月亮的阴晴圆缺、星球周期性的上升下沉、四季的更迭、行星的回归、行星的周期、昼夜平分等。模型并不意味着一定要符合实际，它只要能够符合天体圆周运动规律、与天文现象保持一致、能预测天文现象等形而上学的原理即可，数学模型只是一种计算工具。

柏拉图的学生欧多克斯接受了这个挑战。托马斯·希思（Thomas Heath）写道：

“欧多克斯既没有推测这些旋转运动的原因以及它们如何从一个球体发射信号到另一个球体，也没有探究它们的构成材质。看起来他没有赋予这些球体模型任何物质或是力学联系，整个系统是纯粹的几何假说，或者说是一套可以呈现行星的外在路径并可以用于计算的理论建构。”

（Heath 1913/1981, p. 196）

随后，克劳迪厄斯·托勒密（Claudius Ptolemy）（公元90—168年）

在他的著作《天文学大成》中，反驳了数学天文学和工具主义天文学所支持的球体模型。他认为，行星在被称为本轮和均轮的圆周上运动，它们按照天文学家提出的“拯救现象”的模式运行。托勒密继承了柏拉图的圆周运动这一形而上学的观点，但是摒弃了亚里士多德现行的水晶球模型这一顽固实在论观点，水晶球模型由纯粹的几何构思支撑，顶多是在形式上承认如行星灵魂或智能之类的机制。托勒密认同亚里士多德将哲学划分为理论和实践两个分支，之后他曾写道：“亚里士多德颇为恰当地将理论哲学划分为物理学、数学和神学三类”（Ptolemy 1952, p. 5）。托勒密避开物理学和神学拥护数学，他说：

“理论的另外两个大类可以阐述为猜想，而不是科学理解：神学是因为它无法被感知、触及，物理学是因为其问题模糊且易变，因此哲学家们决不会认同它们……只有数学，如果人们带着怀疑靠近它，那么它将会把准确可靠的知识带给它的实践者。”

（Ptolemy 1952, pp. 5-6）

亚瑟·凯斯特勒（Arthur Koestler）（1905—1983）这样描述这种情况：

“亚里士多德之后的天文学脱离了物理现实，变成了一门抽象的天空几何学……它的一个实际用途是为太阳、月球和行星的运动提供一种计算表格，但对宇宙的真正本质而言，它却没做任何说明。”

（Koestler 1964, p. 77）

就行星机制而言，一些具有传统工具主义思想的人其实是认知层面的反实在论者，他们认为这些机制有可能存在，只是我们无法接近它们。另一些人则是这些机制本体论层面的反实在论者，他们认为我们没有理由去假设这些机制的存在。当然，对待行星和天体，所有人都是实在论者，物体的存在与否取决于人们是否对其进行思考或假设，然而认为天体进入视线但并不存在这一观点想要普及可能还需要2,500年。

无论如何，反实在论最终并没有取得胜利，因为亚里士多德提出了一个兼具哲学性和“科学性”的系统，该系统与行星动力学巧妙契合，亚里士多德的天文学实在论和实体同心球理论，在此后的1,500年里一直占据统治地位⁶。

哥白尼、伽利略的实在论与奥西安德工具主义的对阵

尼古拉斯·哥白尼 (Nicolaus Copernicus) (1473—1543) 撰写的六卷本《天体运行论》(Copernicus 1543/1952) 使天文学中古老的实在论得以复兴。哥白尼相信, 天文学和物理学都需要提出假说, 这些假说都能够对柏拉图的可预测性和拯救现象的需求予以回应, 而且都与现实世界相符。最终, 他重塑了古老但被人忽视的日心说, 即萨摩斯人 (Samos) 阿利斯塔克 (Aristarchus) 的地球转动模型。哥白尼的著作在对教皇保罗二世 (Pope Paul II) 的献辞中, 如此评价托勒密体系:

“另一方面, 尽管那些设计偏心圆系统的人通过适当的计算, 似乎在很大程度上已经解决了显而易见的运动问题, 然而他们引入了许多看上去与匀速运动基本原则相悖的概念⁷。”

在哥白尼生命垂危之际, 路德教会 (the Lutheran) 的教士安德烈亚斯·奥西安德 (Andreas Osiander) (1498—1552) 受托去安排《天体运行论》的出版事宜, 他增加了体现经验主义者和工具主义者对科学理论认识的序言。部分陈述如下:

“天文学家的工作包括以下内容: 通过努力且有技巧的观测来收集天体运动的历史资料, 然后依自己的喜好想象或构造某一假说——因为天文学家无论如何也推导不出这些运动的真正原因, 他们所设想的关于过去或将来的运动, 可以通过几何学的原理进行计算……这些假说并非必须为真, 甚至不需要看起来像是真的。他们所进行的计算与观测结果相符, 这就足够了。”

(Duhem 1908/1969, p. 66)

这篇充满工具主义色彩的序言, 与恩斯特·冯·格拉塞斯费尔德 (Ernst von Glasersfeld) 最后一章的叙述如出一辙: “我们的知识是有用的、相关联的、可行的……如果它是由经验支持, 且能够使我们做出预测……它并没有给我们提供‘客观’世界是什么样子的线索。”这种相似并不令人惊讶, 因为建构主义正是一种工具主义认识论。美国建构主义学者乔治·博德纳 (George Bodner) 坦言:

“建构主义模型是一种关于知识的工具主义认识观。当知识能够

解决问题或让我们实现目标时，它就是有益的……奥西安德曾在哥白尼《天体运行论》的序言里提出过相似的观点：‘这些假设并非必须为真，甚至不需要像是真的。他们所进行的计算与观测结果相符，这就足够了’。”

(Bodner 1986, p. 874)

大约在1600年，伽利略（1564—1642）接受了哥白尼假说。当然，这个假说在科学和神学上都是有争议的。1615年，著名的红衣主教罗伯特·贝拉尔米内（Robert Bellarmine）（1542—1621）向伽利略推荐了哥白尼的经验主义和工具主义，这是奥西安德拐弯抹角强加给哥白尼的。红衣主教是这么说的：

“在我看来，把自己的言论设为假设的、而非绝对的，这表明你正在谨慎地前行，就如同我对哥白尼言论的信奉一样。假设地球在移动而太阳保持静止，该假设比假设均轮和本轮更契合所有的现象，而且这种假设对数学家来说证据也很充分，总之这样说是没有危险的。但是，想要肯定实际上太阳才是世界的中心，结果则是不同的……这是一件非常危险的事。”

(Finocchiaro 1989, p. 67)

然而伽利略并没有接受贝拉尔米内抛来的工具主义橄榄枝：他对哥白尼的假说持有坚决的实在论观点。在他的著作《关于两大世界体系的对话》（1633）中，伽利略重述了哥白尼反对托勒密的主张：

“那些只把自己看做是计算器的天文学家或许会感到满足，但对自己看做是科学家的天文学家而言，他们是不会感到满足的……尽管天象可能会被本质错误的假说解释并得以保留，但如果能从真的假设中得出就更好了。”

(Galileo 1633/1953, p. 341)

通过望远镜观测，伽利略的实在论得到验证和支持——这个故事已经广为人知⁸。正如伽利略1610年所写：

“大约10个月前，我们听闻一个荷兰人制作了一架望远镜，通过这个望远镜，即使是相距甚远的物体，也可以被观测者清楚地看到，

就如同在附近一样。”

(Galileo 1610/1989, p. 36)

同年，伽利略制造了自己的望远镜，并对月球和木星进行了里程碑式的观测。同时代的经验主义者和工具主义者妄图否定伽利略所表达的事实，他们认为伽利略看到的完全是他的肉眼和新工具带来的可疑的技术共同产生的图像。

此外，伽利略的主张违背了长达2,000年来“天体与地域的本体是分离的”这一形而上学的信念。前者是不变的、完美的、不朽的，后者则是变化的、不完美的、易腐的，这两个领域毫无共同点。伽利略绘制的月球图像无法如实地得到解释，因为这些图显示月球和地球很相像，同样显示出木星也有自己的卫星，科学与形而上学之间出现了争执。17世纪伽利略的反对者们使用的言辞，在400年后科学教育领域建构主义者的著作中竟变得司空见惯：“我们无法独立地去获取真相，我们不知道什么是真实存在⁹。”伽利略不断改进仪器原有的缺点，并在附近的教堂、高塔和停泊在港口外的船只上试用他的望远镜，检查所见之物是否与裸眼所见一致或近似一致，以此来回应哲学上的怀疑。因此，伽利略的天文学主张是反形而上学的，其真实性建立在实证基础之上，这是科学史上一个反复出现的主题。

经典物理学：牛顿的实在论与贝克莱的经验主义

艾萨克·牛顿 (Isaac Newton) (1642—1727) 与亚里士多德和伽利略一样，是一名实在论者。他提出了天体运动的机制 (万有引力)，万有引力既符合开普勒 (Kepler) 发现的天上行星的运动定律，也印证了伽利略发现的地面上的定律。牛顿的实在论思想奠定了他坚信绝对空间和绝对时间的基础，这一点与主张世界上只存在相对空间和相对时间 (即我们所体验到的空间和时间) 的观点相反。在其《论“空间与时间”》一书的注释中，牛顿说：

“但是，由于我们无法通过感觉去看或区分不同的空间，因此我们使用可感知的测量来代替它们……同样，我们使用相对方位和相对运动来代替绝对方位和绝对运动；而这并未给普通事物带来任何

不便；但在哲学专题内部，不同于那些可以通过感觉观测的事物，我们应该将目光从自身感觉上移开，转而考虑事物本身。”

(Newton 1729/1934, p. 8)

关于力学，牛顿也是实在论者。当一个物体加速时，包括在轨道上平稳运动时，总有一个实在的力作用于它：一定有什么东西使得物体加速。力不仅是数学上为了方便或为了按照规定描述运动物体的位置变化而存在的，力还能导致物体运动，它和运动的物体有着相同的本体论地位。例如在自由落体运动和行星运动中，尽管只能看到正在加速的物体，但牛顿相信该加速依赖于一个真实的、看不见的力。著名的机械唯物主义哲学家惠更斯（Huygens）和莱布尼茨（Leibniz）否定了这样的力，对他们来说，只有通过接触或者物体碰撞才会产生力。相反，牛顿对这些力持实在论的观点，对他来说，力是用来解释观察到的现象的理论假设¹⁰；它不仅仅是数学方法中用来联系各个变量的中间变量（Meehl & MacCorquodale 1948）；不是心理学中一个常用的方法论概念；也不仅仅是后来马赫所主张的思维经济中所说的便利。

主教乔治·贝克莱（George Berkeley）（1685—1753）在他1721年出版的《运动》一书中，继续对万有引力的真实性进行经验主义攻击，此外，他对力的真实性进行了更为广泛的反驳。贝克莱说道：

“力、重力、引力以及类似的术语，都是为了方便对运动及运动物体进行推理和计算，并不是为了理解运动自身的本质。”

(Berkeley 1721/1901, p. 506)

这是他1710年出版的《人类知识原理》提出的早期论点的延伸，该论点是对超感官存在的非实在论的唯心主义论证。书中他说道：

“所有的天堂圣歌和地球陈设，总之所有那些构成世界强大结构的物质，没有了精神就不复存在——它们的存在是用于感觉和认知的……让任何一个人去考虑那些被认为是显而易见的、证明色彩和味道只存在于思想中的论证，他就会发现，它们同样也能证明范围、形状和运动都是相同的情况。”

(Berkeley 1710/1962, p. 67-71)¹¹

原子论：实在论者与反实在论者的解释

2,500年以来，实在论者与工具主义者、经验主义者以及建构主义者关于科学目的和科学理论的解释一直存在争论，原子理论是该争论的一个精彩案例。现代原子理论横跨多个科学领域及学科，它不可阻挡地将科学和哲学联系起来，它是许多现代家庭、通信、医学、工业和军事技术的基础，它出现在全世界高中（或有些初中）科学课程中——因此，本书的主题适合用来检验历史和哲学思考怎样才能更好地促进对科学的理解，进而增加学生对科学本质的认识。

美国《下一代科学教育标准》在“跨学科”概念部分提及原子时这样描述：

“例如，桌子上的书本的稳定依赖于书本向下的压力引起桌子的微小形变，继而引起桌子内部原子的位置变化。这些原子的位置变化随后改变了原子间的作用力，变化的作用力导致桌子向书本提供了向上的支持力。”

（NRC 2013, p. 100）

这是一幅看似简单的实在论画面，通过融入历史和哲学内容使该画面明显增强并更具趣味性和挑战性。当科学教育中富含HPS的内容，科学学习中的“迷信”成分（这在前面的引文中很明显）就会削弱，与重要传统的联系也得以增强，而学生自己的认识论或知识理论雏形也得以发展。在此处提及原子论的一些历史及其与哲学的相关争论，旨在表达HPS对课堂教学的贡献。值得高兴的是，当对原子论进行历史和哲学研究时，我们会有很大的收获¹²。

原子论的起源

原子论起源于前苏格拉底哲学，具体来说源自唯物主义哲学家留基伯（Leucippus）和德谟克利特（Democritus）。他们认为万物的基本组成都是微小的、不可见的原子，这些原子是不可分割的，并且虚空存在。德谟克利特受世人称赞，一是由于他尝试为自然事件和过程提供“自然的”解释，而不是神话的、万物有灵的、宗教的、赋予人性的或目的论的解释；二是他认为世界远不止人们肉眼所见的那么简单。

艾伦·查默斯 (Alan Chalmers) (2009) 在最近的原子论历史综合研究中发现了古代原子论的两个基本问题：第一，这些对原子的解释总是跟随在事件之后，他们从不预测经验和事件，而仅仅在事件发生之后提出“解释”；第二，提供的解释是不确定的，用来“解释”事件或性质的原子，其形状和大小可以以任意数目进行排列。对查默斯来说，这种早期原子论是哲学层面而非科学层面的原子论，它相当于只“打了个招呼”，并未带来任何富有成效的实践。“哲学层面的原子论并非科学原子论的原始资料或者灵感来源，反而成为科学原子论需要跨越的障碍” (Chalmers 2009, p. 265)。

众所周知，原子论者混乱的、无序的、无目的的、机械的、“互相碰撞”的世界观被亚里士多德有序的、目的论的、有针对性的、“有机的”自然观所取代。后者似乎更能与人们自身的意向经验、努力以及他们周围所有事物的有序发展相适应。比如说橡树种子，不论如何摇晃，最终都会长成橡树，而绝不会变成一株番茄或一只老鼠。除了原子外，似乎种子内部还有些重要结构，这些结构“控制”种子的生长及其与环境的相互作用。亚里士多德建了一幢系统化的哲学大厦，质料因、形式因、动力因和目的因是其基本分类，这引领了其后2,500年的亚里士多德自然哲学（科学）。

17世纪的原子论

17世纪，与科学革命相关的自然哲学家在与占主导地位的亚里士多德哲学的斗争中，使古代原子论得以复兴。伽利略是第一批重新拥护原子本体论的学者。在伽利略的著作《试金者》(Galileo 1623/1957)中，他提出看不见的“原子”运动产生热，这是他最早、也是最著名的陈述。他说：

“首先我必须考虑我们所谓的热是什么，因为我怀疑大众普遍持有的这一概念与事实相差甚远。他们认为热是存在于材料中的一种真实现象，或者说是性质、特性。通过热我们能够感到温暖。”

(Galileo 1623/1957, p. 274)

伽利略认为，微小的、不可见的“原子”或微粒，其形状、大小、运动和碰撞决定了所有外在的、可感知的状态、过程和现象。此处不再对亚

里士多德哲学中的形式或潜能进行展开。随后在第十章中我们将会看到，罗马天主教会立刻意识到，本体论的复兴将对自身哲学或神学教义的整体造成威胁。

罗伯特·波义耳 (Robert Boyle) (1627—1691) 提出著名的微粒哲学或称为机械哲学，但他很谨慎地将神学排除在外。因此，永恒的灵魂、精神、恩惠赐予、天使行为以及基督教其他丰富的群集存在，都被排除在波义耳的新（或旧）体系之外。在该体系中，万物都是原子或者真空。作为 17 世纪最伟大的科学家，牛顿是新哲学的拥护者，或者说是机械世界观复兴的拥护者。在牛顿还是学生的时候，他便支持伽利略的数学研究方法、哥白尼主义和经验主义，同时支持伽利略对亚里士多德物理学和经院哲学的反对，支持伽利略提出的、仍处于萌芽阶段的原子论¹³。

恩斯特·马赫的工具主义

恩斯特·马赫 (1838—1916) 在 20 世纪初期的哲学之争中秉持经验主义和工具主义的标准：原子和分子是否存在、原子假说有无意义。马赫在他 1872 年出版的《能量守恒定律的历史和根源》中首次公开反对原子论。在书中，他认为这个假说是无用的，因为它对解决“基于现象所得的知识告诉了我们什么”这一问题毫无裨益。马赫论证道：

“让我们暂时假设所有的物理事件都能简化为物质粒子（分子）的空间运动。关于这个假设我们能做什么？我们假设那些看不见或摸不到的、只存在于我们想象和认识之中的物体可以拥有能被触及的物体所独有的属性与关系。我们强行给思想的造物加以可见及有形的限制……在一个完整的理论中，所有关于现象的细节和关于假设的细节要完全一致，而且所有这些适用于假定事物的规则必须能直接转移给相应的现象。但这样的话，分子的概念就只是一个毫无价值的想象。”

(Mach 1872/1911, p. 49)

马赫不只反对原子论，他还拒绝任何理论建构的具体化。例如，对于牛顿的万有引力，他说这不只是未知，而是根本不存在，万有引力是为了思维经济原则及特殊实验关系的数学化而人为创造的概念。马赫认

为贝克莱和休谟 (Hume) 是志趣相投的哲学家 (尽管马赫的思想在他阅读这两人的著作之前就已经形成)。

普朗克的实在论

马克斯·普朗克 (Max Planck) (1858—1947) 是马赫最强劲的对手。然而, 几乎所有与普朗克同时期的物理学家都曾赞同马赫的经验主义观点 (Heilbron 1989 p. 44-46)。理查德·米勒 (Richard Miller) 记录了建构主义者保留这些成功理论所付出的努力, 但他并不认同这些建构主义者代表的理论。他写道:

“现代科学哲学大多数典型的方法和观点, 都可以追溯到 19 世纪的后 25 年。此时期富有哲学思想的物理学家和化学家, 尤其是奥地利和德国的, 都在尝试展示经典力学、麦克斯韦电动力学和原子化学的丰硕成果, 但却不承认各自理论中各具特色的实体。”

(Miller 1987, p. 351)

普朗克信奉马赫哲学的时期, 他反对玻尔兹曼 (Boltzmann) 对热力学第二定律的原子解释。1900 年, 普朗克亲自研究黑体辐射问题之后, 他转向了实在论及原子论者的阵营。同许多转变者一样, 他变得比大部分实在论者更坚信实在论——他主张原子同行星一样是真实存在的, 而且很可能看起来就像是按比例缩小的行星 (Toulmin 1970, p. 24)。

1908 年, 普朗克应洛伦兹 (Lorentz) 之邀在莱顿进行了题为《物理世界画面的统一》的演讲。在此演讲中, 他首次公开反驳了马赫的观点 (转引自 Toulmin 1970)。普朗克反驳了马赫关于科学必须立足于我们的心理因素或经验这一根本主张, 他说: “迄今为止, 理论物理的全部发展是以统一为标志的, 这个统一是通过从拟人的因素中, 尤其是从特定的感官知觉中解放出来得以实现的” (Toulmin 1970, p. 6)。

另外, 普朗克还在《力学科学》中批判了马赫对物理学史的赞颂:

“当精密科学的大师们介绍他们的科学观点时: 当尼古拉斯·哥白尼将地球从宇宙的中心移走时……当伊萨克·牛顿发现万有引力定律时……当法拉第建立电气力学基础时……‘经济的’观点必定是这些人与传统看法和至高权威的战役中最后的防守, 不, 是他们

对（原子）世界存在的决不动摇的信念——无论基于艺术还是宗教基础。”

（Toulmin 1970, p. 26）

普朗克的演讲以“马赫的经验主义与科学进步相对立”这一主张结束：

“如果马赫的思维经济原则成为认识论的核心，就会扰乱这些顶尖知识分子的思维过程，麻痹他们的想象力，科学的进程将会遭受致命的阻碍。”

（Toulmin 1970, p. 26）

当然，这些言辞具有一定的挑衅性。尽管已经72岁高龄，马赫还是对此做出了回应。1910年马赫发表了题为《我的科学认识论的指导原则》的文章作为回应（转引自Toulmin 1970）。马赫以论战的风格，如此评价普朗克及其支持者们：

“他们正在组建一个教派……对此我简要回答：如果对你们来说，相信原子真实存在如此重要的话，那么我将放弃自己物理学家的思维模式，我不再期望成为真正的物理学家，我放弃所有的科学荣誉。简而言之，我婉言谢绝原子实在论团体，我更崇尚思想自由。”

（Toulmin 1970, p. 37）

一些哲学思考

实在论者与反实在论者之间，关于天文学机制和原子论争论的历史概况表明，若要讨论此问题，了解一些基本分歧是很重要的，太过局限地对待该主题，非黑即白的对比会使人难以理解历史的细微差别。这个概况同时阐明了本书的一个中心主题：科学与哲学紧密联系，认识这两个领域对认识二者的历史，以及正确认识讨论过的或学过的科学理论具有重要作用。

经验主义者反对实在论的论证

经验主义者反对实在论者三个最有力的论证分别是：第一、“惰性”论证；第二、“墓地”论证；第三、“不充分决定论”论证。拉里·劳丹

(Larry Laudan) (1984) 和巴斯·范弗拉森 (1980) 曾对实在论提出了广泛的批评, 经验主义和工具主义作为可行的科学哲学, 范弗拉森曾给出了非常严谨的重述。范弗拉森说:

“成为一个经验主义者, 要拒绝相信任何超越实在、超越可观察现象的事物, 要承认自然中不存在客观形态……(它) 包括坚决拒绝对自然中可观察过程规律进行解释的需求, 通过真理关注超越实际存在的现实和可观察的现实。”

(van Fraassen 1980, p. 202)

第一个“惰性”论证是由马赫提出的, 卡尔·亨佩尔 (Carl Hempel) (1905—1997) 在他著名的论文《理论家的困境》(Hempel 1958/1965) 中也曾做过简明表述。亨佩尔认为, 经验主义者布雷思韦特 (Braithwaite)、卡纳普 (Carnap)、费格尔 (Feigl) 等将科学术语归到两个领域中: 可观察领域和理论领域。理论的功能是通过演绎解释观察结果或通过归纳规范观察结果, 根据一组观察, 就能对另一组观察进行预测。实在论者认为这些解释是有效的, 因为他们假设的理论实体和过程与可见的事物之间是有联系的。假设的理论实体像定律一样表现良好 (因此, 将天使和灵排除在科学理论实体之外)。在引用行为主义者赫尔 (Hull) 和斯金纳 (Skinner) 就此话题发表的看法之后, 亨佩尔提出了理论家面临的困境, 其论述如下:

“如果某个理论的术语和原理服务于它们的目的, 那么它们就不是必要的……如果它们不能服务于其目的, 它们无疑也是不必要的。而对于任何给定的理论, 它的术语和原理要么能够服务于其目的, 要么不能。因此任何理论的术语和原理都是不必要的。”

(Hempel 1958/1965, p. 186)

理论术语“力”、“场”、“热”、“智力”、“类”、“基因”等占据了科学空间却没有做出任何贡献。在详细阐述后, 亨佩尔批判并抛弃了此论证, 他认为假设的观察基石是“虚构的”(Hempel 1963, p. 701)。与现象的演绎解释一样, 理论必须为其主张提供归纳式扩展, 而只通过观察术语是无法实现的 (Hempel 1963, p. 700)。

第二个“墓地”论证，反实在论在传统上是极具说服力的。拉里·劳丹对该论证进行了简明扼要的阐述（Laudan 1984）。他指出，科学史堆满了被抛弃的理论实体，而它们都曾牢固地位于所处时期最顶尖的科学体系中——水晶球理论、热质论、燃素说、体液学说、以太学说等等——所有这些理论实体都曾被假定是具有指称功能的，结果它们并没有。劳丹补充说，没有理由让我们认为现有最佳候选真理会有截然不同的命运。这就是他反实在论的“悲观一元归纳”（pessimistic meta-induction, PMI）观点（Laudan 1984）。

第三个“不充分决定论”论证，认为事实上理论术语总是无法被已有的证据充分证明，因此同样的证据可能也支持其他现有的或潜在的理论实体。所以，证据并未给任何有特殊指称功能的主张提供专门的依据。

对实在论的辩护

在上文概述中，实在论者为反对经验主义的论证做出了辩护，在课堂讨论和讲述中，这些努力很容易得到理解与使用¹⁴。希拉里·帕特南（Hilary Putnam）的“无奇迹”论点得到广泛支持：

“支持实在论的观点认为，实在论是唯一不把科学成就归为奇迹的哲学……（实在论）是对科学以及科学与其对象之间的关系进行充分科学描述的一部分。”

（Putnam 1975, p. 73）

其他实在论者（Psillos 1999, 2011）概述了如何应对劳丹的PMI观点。

首先，通过规定更严格的埋葬条件，来减少公墓里坟墓的数量。并不是所有陈旧的、被抛弃的理论都有资格被埋葬，只有那些充分证实的理论才有资格被埋葬，这些理论的证实是由新的事实预测的。经验主义不像占星术和自然神学那样，消极地与事实或现象保持一致，理论要基于其假设的理论实体做出新颖的、确定的预测，才有资格被埋葬在科学领域的公墓里。这一步减少了基于悲观归纳的坟墓数。

第二，检验被埋葬的理论是否真的已经死亡。实在论者确实需要知道理论的改变——即使是最坚实的、成功的理论。但是新理论在多大程度上继承了其替代理论的要素和实体，这一直是一个有待解决的问题。理论改变存在多大程度的连续性，PMI论证的基础就在多大程度上被削

弱¹⁵。菲涅尔 (Fresnel) 的光学理论获准埋葬于科学公墓 (该理论被广泛认同, 是成功的, 且做出了正确的预测), 尽管被埋葬了, 该理论的部分内容仍继续存活并推动了之后 19 世纪光学的发展, 因此它值得被挖掘出来, 无须在公墓中占据更多空间。劳丹有一个观点: 被埋葬并不痛苦, 常常被反实在论者挖出才痛苦。

伊恩·哈金 (Ian Hacking) (1983) 提示说, 如果科学被看做是世界的简单呈现, 那么经验主义者的论证就足够强大, 而实在论者的回答并不尽如人意, 实在论者不得不寻找新的辩护形式。哈金在科学干预和科学实验中成功发现了这些。对于电子的真实性, 哈金赞同一位科学家的观点: “对我而言, 如果你能够喷射出它们, 那么它们就是真实的” (Hacking 1983, p. 23)。哈金为这位工作者的直觉提供了哲学支撑, 同艾伦·富兰克林 (Allan Franklin) 一样认为实验实践的持续成功证实了温和实在论:

“然而, 支持实在论观点并不意味着我相信定律的绝对真理性, 或者相信实体的‘真实’存在。它只是意味着我认为我们有足够的理由来相信定律的真实性以及实体的存在。”

(Franklin 1999, p. 160)

描述实在论接受的一些形式, 以此来阐明哪些内容以实在论之名被辩护, 哪些不被辩护, 这种做法是有用的。利普林 (Leplin 1984, p. 1) 提供了一个跨越整个实在论哲学阵地的综合列表。他指出, 实在论者可以说认同以下这些略有不同的命题之一, 这些命题是:

1. 现存最好的科学理论至少是近似为真的。
2. 现存最好的理论的核心术语是真正具有指称功能的。
3. 科学理论的近似为真是对成功预测的充分解释。
4. 科学理论的近似为真是对成功预测唯一可能的解释。
5. 科学理论仍可能近似为真, 即使指称不够成功。
6. 至少, 成熟的科学史展示了对物质世界进行逐步真实阐释的过程。
7. 科学理论的理论主张可按照字面理解, 并确定其为真或为假。
8. 科学理论做出真实的、存在性的主张。
9. 理论的预测成功是其核心术语指称成功的证据。

10. 科学旨在完全真实地阐释物质世界，其成功是通过实现目标的进程来体现的。

极端实在论或许会坚持上述命题中1、2、4、7和10的结合。而温和实在论或许会坚持上述命题中6、8和9的结合。实际上，温和实在论认为科学的目的是对世界提供一个真实的阐释，这个世界超越并独立于我们自身的心理状态，而且得到充分证明的科学理论近似为真，它们的假设解释实体确实存在——成功的科学理论能够“理解世界”¹⁶。

霍华德·斯坦（Howard Stein）论证了实在论与反实在论争辩中寻求细节的重要性：

“当矛头指向真实的科学史背景时，（1）简而言之，这两个对立学说作为科学发展的逻辑论证理论都不够充分；（2）打破了一些伟大科学家如惠更斯、开尔文（Kelvin）、庞加莱（Poincaré）所进行的研究，每个学说都是功不可没的；（3）然而在这两个理论的陈述及实际应用中……久负盛名的哲学家或科学家、实在论和工具主义的重要观点同时呈现，这样一来它们之间所谓的矛盾就消失了。”

（Stein 1989, p. 47）

伴随对这些警示的认可，温和实在论得到了支持。它有如下主张：

- 科学中的理论术语尝试去参照一些实体。
- 无论何种程度，科学理论在尝试指称方面都是成功的。
- 科学进程，至少成熟科学的进程，是由于其自身日趋真实。
- 科学研究的自然世界是独立于我们的思想和精神存在的。

结论

无论关于不可观察事物的理论陈述是否意指参照真实的、存在的实体，以及参照程度是多少，实在论者与反实在论者关于科学理论地位的争论基于很多原因。首先，它在科学本质的哲学思考史上占据重要地位，它应成为学校讨论该主题的特色。第二，学校教材通常认可一种或另一种观点，但却很少涉及对历史和哲学问题的理解。对该争论的熟悉有助于教师更加批判地对待教材，并拓宽学生对核心问题的理解能力。第三，建构主义对科学及科学探究目标的观点，明显是经验主义和工具主

义的。事实上,在很多情况下,有观点主张人们只能了解自己的经验,这完全是实证主义——尽管这个词已成为教育工作者滥用的术语。这些经验主义主张充斥于课堂实践中,人们普遍认为“建构主义是最成熟的认识论理论”,实际上这也是教育工作者默认的观点,人们还普遍认为成功的科学教学可以通过接受这种观点的学生的数量来衡量(Roth & Roychoudhury 1994, p. 28; Tsai 1999, p. 1219)。实在论并非像人们普遍认为的那样不足为信或毫无依据,对教育工作者来说,意识到这一点是大有裨益的。这种认识可以减少教师教育及学校课堂中对建构主义的灌输。

■ 注释 ■

1. 论述实在论与反实在论的书籍和文章数不胜数。线上的《斯坦福哲学百科全书》是查阅实在论和反实在论历史与文献资料一个很好的起点。有两本经典著作,一本是支持实在论的 Psillos (1999),另一本是支持反实在论的 van Fraassen (1980)。以下四本选集中可以找到辩论双方的论证: Churchland & Hooker (1985)、Cohen *et al.* (1996)、Leplin (1984) 以及 Nola (1988)。
2. 尽管这些主张是分开陈述的,但是它们之间相互关联。实在论者关于实体的本体论主张需要与关于实在论属性的认识论主张相联系,前者的观点离不开后者。这么做等于说哥布林是存在的,但我们对他们一无所知且无从说起。
3. 在第十二章将会展示把 HPS 融入教师教育是最有效的教学方法。
4. 关于古代天文学有许多资源,至少可参考: Clagett (1957, Chapter 7)、Heath (1913/1981) 以及 Sambursky (1956, Chapter 3、4)。
5. 基督教关于运动及运动上帝的传统论证,见 Buckley (1971)。
6. 哥白尼 1543 年革命性的论文题为《天体运行论》。
7. 许多文献都被编撰在内,见 Matthews (1989, pp. 40-44)。
8. 见 Drake (1970, Chapter 7) 及 van Helden (1985)。
9. 如两位建构主义者所写:“通常,建构主义者承认独立于认知的现实存在,但是他们认为接近这个现实是很难的”(Roth & Roychoudhury 1994, p. 6)。Kitcher (2001) 和 Nola (2003) 详尽阐释并有力批判了这种特别的建构主义主张。
10. 关于此主题,见 Cohen (2002)。
11. 值得注意的是,恩斯特·冯·格拉斯费尔德认为 1710 年是哲学史上最伟大的年份之一,因为这一年贝克莱的著作发表了。同样值得注意的是,他提及第二次世界大战流亡爱尔兰时读到的《人类知识原理》是他阅读的第一本哲学书籍。在许多当代建构主义者的讨论中,仍能听到贝克莱主教思想的回响,这并不意外。
12. 近期优秀的作品有: Chalmers (2009)、Pullman (1998)、Pyle (1997) 以及 Siegfried (2002)。一部较早期的优秀作品来自托马斯主义哲学家范梅尔森 (van Melsen) (1952)。
13. 牛顿的早期科学和哲学观点,见 Herivel (1965) 和 Westfall (1980, Chapter 3-5)。
14. 例如,参考 Boyd (1984)、Hooker (1985、1987)、McMullin (1984)、Musgrave (1996)、Psillos (1999、2011)、Schlagel (1986) 和 Snyder (2005)。

15. 阿尔贝托·科德罗 (Alberto Cordero) 很好地讨论了此问题 (Cordero 2013)。
16. 近似为真的观点, 或者说波普尔 (Popper) 所称的“逼真”, 有其自身的问题, 但是可以辩护的 (Devitt 1991, Oddie 1986)。

参考文献

- AAAS (American Association for the Advancement of Science): 1989, *Project 2061: Science for All Americans*, AAAS, Washington, DC. Also published by Oxford University Press, 1990.
- Berkeley, G.: 1710/1962, *The Principles of Human Knowledge*, G.J. Warnock (ed.), Collins, London.
- Berkeley, G.: 1721/1901, *De Motu*, in A.C. Fraser (ed.) *The Works of George Berkeley*, Oxford University Press, Oxford, UK (extracts in D.M. Armstrong (ed.) *Berkeley's Philosophical Writings*, New York, 1965).
- Bodner, G.M.: 1986, 'Constructivism: A Theory of Knowledge', *Journal of Chemical Education* 63(10), 873-878.
- Boyd, R.N.: 1984, 'The Current Status of Scientific Realism'. In J. Leplin (ed.) *Scientific Realism*, University of California Press, Berkeley, CA, pp. 41-82.
- Buckley, M.J.: 1971, *Motion and Motion's God*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Chalmers, A.F.: 2009, *The Scientist's Atom and the Philosopher's Stone: How Science Succeeded and Philosophy Failed to Gain Knowledge of Atoms*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Churchland, P.M. and Hooker, C.A. (eds): 1985, *Images of Science*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Clagett, M.: 1957, *Greek Science in Antiquity*, Abelard-Schuman, London.
- Cohen, I.B.: 2002, 'Newton's Concepts of Force and Mass, with Notes on the Laws of Motion'. In I.B. Cohen and G.E. Smith (eds) *The Cambridge Companion to Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 57-84.
- Cohen, R.S., Hilpinen, R. and Renzong, Q. (eds): 1996, *Realism and Anti-Realism in the Philosophy of Science: Beijing International Conference, 1992*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Copernicus, N.: 1543/1952, *On the Revolutions of the Heavenly Spheres* (trans. C.G. Wallis), Encyclopædia Britannica, Chicago, IL.
- Cordero, A.: 2013, 'Conversations Across Meaning Variance', *Science & Education* 22(6), 1305-1313.
- Devitt, M.: 1991, *Realism and Truth*, 2nd edn, Basil Blackwell, Oxford, UK.
- Drake, S.: 1970, *Galileo Studies*, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.
- Duhem, P.: 1908/1969, *To Save the Phenomena: An Essay on the Idea of Physical Theory from Plato to Galileo*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Finocchiaro, M.A.: 1989, *The Galileo Affair: A Documentary History*, University of California Press, Berkeley, CA.
- Franklin, A.: 1999, *Can that be Right? Essays on Experiment, Evidence, and Science*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Galileo, G.: 1610/1989, *Sidereus Nuncius (The Sidereal Messenger)* (trans. and ed. Albert van Helden), The University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Galileo, G.: 1623/1957, *The Assayer*. In S. Drake (ed.) *Discoveries and Opinions of Galileo*, Doubleday, New York, pp. 229-280.
- Galileo, G.: 1633/1953, *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems* (trans. S. Drake), University of California Press, Berkeley, CA (2nd revised edition, 1967).
- Hacking, I.: 1983, *Representing and Intervening*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Heath, T.: 1913/1981, *Aristarchus of Samos: The Ancient Copernicus*, Clarendon Press, Oxford, UK (reprinted, Dover 1981).
- Heilbron, J.L.: 1986, *The Dilemmas of an Upright Man: Max Planck as Spokesman for German Science*, University

- of California Press, Berkeley, CA.
- Hempel, C.G.: 1958/1965, 'The Theoretician's Dilemma', *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol.II. Reprinted in his *Aspects of Scientific Explanation*, Macmillan, New York, 1965, pp. 173-226.
- Hempel, C.G.: 1963, 'Implications of Carnap's Work for the Philosophy of Science'. In P.A. Schilpp (ed.) *The Philosophy of Rudolf Carnap*, Open Court Publishers, LaSalle, IL, pp. 685-709.
- Herivel, J.: 1965, *The Background to Newton's 'Principia'*, Clarendon Press, Oxford, UK.
- Hooker, C.A.: 1985, 'Surface Dazzle, Ghostly Depths: An Exposition and Critical Evaluation of van Fraassen's Vindication of Empiricism against Realism', in P.M. Churchland and C.A. Hooker (eds) *Images of Science*, University of Chicago Press, Chicago, IL, pp. 153-196.
- Hooker, C.A.: 1987, *A Realistic Theory of Science*, State University of New York Press, Albany.
- Kitcher, P.: 2001, 'Real Realism: The Galilean Strategy', *The Philosophical Review* 110(2), 151-197.
- Koestler, A.: 1964, *The Sleepwalkers*, Penguin Books, Harmondsworth, UK.
- Laudan, L.: 1984, 'A Confutation of Convergent Realism'. In J. Leplin (ed.) *Scientific Realism*, University of California Press, Berkeley, CA, pp. 218-249.
- Leplin, J. (ed.): 1984, *Scientific Realism*, University of California Press, Berkeley, CA.
- Mach, E.: 1872/1911, *The History and Root of the Principle of the Conservation of Energy*, Open Court Publishing Company, Chicago, IL.
- McMullin, E.: 1984, 'A Case for Scientific Realism'. In J. Leplin (ed.) *Scientific Realism*, University of California Press, Berkeley, CA, pp. 8-40.
- Matthews, M.R. (ed.): 1989, *The Scientific Background to Modern Philosophy*, Hackett Publishing Company, Indianapolis, IN.
- Meehl, P. and MacCorquodale, K.: 1948, 'On a Distinction Between Hypothetical Constructs and Intervening Variables', *Psychological Review* 55, 95-107.
- Miller, R.W.: 1987, *Fact and Method: Explanation, Confirmation and Reality in the Natural and Social Sciences*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Musgrave, A.: 1996, 'Realism, Truth and Objectivity'. In R.S. Cohen, R. Hilpinen and Q. Renzong (eds) *Realism and Anti-Realism in the Philosophy of Science*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 19-44.
- NRC (National Research Council): 2013, *Next Generation Science Standards*, National Academies Press, Washington, DC.
- Newton, I.: 1729/1934, *Mathematical Principles of Mathematical Philosophy* (trans. A. Motte, revised F. Cajori), University of California Press, Berkeley, CA.
- Nola, R. (ed.): 1988, *Relativism and Realism in Science*, Reidel Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Nola, R.: 2003, "'Naked Before Reality; Skinless Before the Absolute": A Critique of the Inaccessibility of Reality Argument in Constructivism', *Science & Education* 12(2), 131-166.
- Oddie, G.: 1986, *Likeness to Truth*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Psillos, S.: 1999, *Scientific Realism: How Science Tracks Truth*, Routledge, London.
- Psillos, S.: 2011, 'Is the History of Science the Wasteland of False Theories?' In P.V. Kokkotas, K.S. Malamitsa and A.A. Rizaki (eds) *Adapting Historical Knowledge Production to the Classroom*, Sense Publishers, Rotterdam, The Netherlands, pp. 17-36.
- Ptolemy, C.: 1952, *The Almagest*, University of Chicago Press, Chicago, IL (Britannica Great Books, Vol.16, trans. R. Catesby Taliaferro).
- Pullman, B.: 1998, *The Atom in the History of Human Thought*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Putnam, H.: 1975, *Mathematics, Matter and Method: Philosophical Papers Volume I*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Pyle, A.: 1997, *Atomism and Its Critics: From Democritus to Newton*, Thoemmes Press, Bristol, UK.

- Roth, M-W. and Roychoudhury, A.: 1994, 'Physics Students' Epistemologies and Views About Knowing and Learning', *Journal of Research in Science Teaching* 31(1), 5-30.
- Sambursky, S.: 1956, *The Physical World of the Greeks*, Routledge & Kegan Paul, London.
- Schlagel, R.: 1986, *Contextual Realism: A Meta-physical Framework for Modern Science*, Paragon House, New York.
- Siegfried, R.: 2002, *From Elements to Atoms: A History of Chemical Composition*, American Philosophical Society, Philadelphia, PA.
- Snyder, L.J.: 2005, 'Confirmation for a Modest Realism', *Philosophy of Science* 72, 839-849.
- Stein, H.: 1989, 'Yes, But Some Skeptical Remarks on Realism and Anti-Realism', *Dialectica* 43(1-2), 47-65.
- Toulmin, S.E. (ed.): 1970, *Physical Reality: Philosophical Essays on Twentieth-Century Physics*, Harper & Row, New York.
- Tsai, C.-C.: 1999, 'The Progression Toward Constructivist Epistemological Views of Science: A Case Study of the STS Instruction of Taiwanese High School Female Students', *International Journal of Science Education* 21(11), 1201-1222.
- van Fraassen, B.C.: 1980, *The Scientific Image*, Clarendon Press, Oxford, UK.
- van Helden, A.: 1985, *The Invention of the Telescope*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- van Melsen, A.G.: 1952, *From Atomos to Atom*, Duquesne University Press, Pittsburgh, PA.
- Westfall, R.S.: 1980, *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

科学，即从前的“自然哲学”，一直是文化的一个动态组成部分，它受文化的影响，同时也在影响文化，因此，科学和世界观是相互联系的，好的科学教育应当帮助学生理解这种相互关系²。

农业科学家休·高奇（Hugh Gauch）撰写了一篇具有前瞻性的文章，题为《科学和教育》（2009），并投稿于《科学、世界观与教育》（Matthews 2009b）。在这篇文章中他认为：无论是从有神论还是无神论的角度出发，科学与世界观的关系，对科学家、科学教师以及一般文化来说，都是当今所有问题中最重要（Gauch 2009）。许多人对这些问题非常感兴趣，比如：上帝是否存在？世界是否有意志？是否存在对世界产生因果影响的精神实体？人类是否有精神灵魂将他们与动物区分开来？是否所有的祈祷都能得到回应？自然因果过程能否被打断？……对于教师和学生来说，知道科学是否能以某种方式回答这些问题，或者科学是否应对这些问题保持沉默是很重要的。暂且假定，关于科学本质的知识应当是弄清楚科学是否可以回答这些问题。高奇对一些科学家、哲学家和教育家的意见进行了调查，不出所料，在科学合理的范围内，不同群体对此问题并未达成一致。

重要的一点，高奇还详细记录了美国科学促进会（AAAS）和美国国家研究委员会（US NRC）关于定义科学特征的意见书，以及他们是如何谈论科学和世界观的。他提出了AAAS和NRC都认同的科学事业的7大支柱，分别是：

支柱1：实在论，科学努力去理解的物质世界是真实的。

支柱2：预设，科学预设这个世界是有规律的，是可以理解的。

支柱3：证据，科学需要证据来支撑结论。

支柱4：逻辑，科学的思考遵循规范的、固定的逻辑。

支柱5：局限性，科学在理解世界方面存在一定的局限。

支柱6：普遍性，科学是大众的，欢迎来自各种文化背景的人。

支柱7：世界观，科学可以帮助建立有意义的世界观。

高奇认为，这7大支柱在一定程度上等同于一个流行观点：超自然的研究不属于科学范畴。这是由已故的斯蒂芬·古尔德（Stephen J. Gould）（Gould 1999）提出并且得到普遍认可的“互不重叠的权威”（non-overlapping magestria, NOMA）的观点。然而，高奇发现这与美国科学促进会的观点并不一致，因为，该协会坚称“我们生活的宇宙尽管不以目的论为导向，但却是有方向的。”对于高奇来说，这是对犹太教—基督教—伊斯兰教基本世界观的否认，即世界既不是无目的的，也不是无终极导向的。这种论断与NOMA相反，认为科学不是独立于世界观的。他提出并捍卫了相关论点：

“科学在它的预设和方法上是独立于世界观的，但一般而言，科学证据或者实证证据会有世界观的输入。方法论的考量揭示了这种可能性，而历史回顾证实了它的现状。”

（Gauch 2009, p. 679）

对科学教师和课程编写者而言会出现以下基本问题，这些问题交由教育家、历史学家和科学哲学家解决：

- 世界观由什么组成？
- 世界观如何冲击本体论、认识论、道德和宗教信仰？又是如何被本体论、认识论、道德和宗教信仰修正的？
- 如果有世界观信仰的话，在科学的实践活动中，它被预设为什么？
- 在学习科学的本质（Nature of Science, NOS）和与科学有关的世界观时，哪些是重叠的？
- 科学方法的合理范畴是什么？科学方法应该用于历史问题中吗？特别是涉及圣经和经文的历史问题。
- 学习科学的世界观应该在科学教学中占多大比例？
- 科学教学应该告知学生世界观还是不让他们接触世界观？学生只是“跨界者”吗？他们是应该从拥有某一特定世界观的文化中转移到科学课堂上，只为“学会”工具性或技术性的知识，然后再回到他们“原本”的文化中去，而不受科学世界观的影响吗？

- 与科学教育相关的项目我们做了什么决策？在这些科学教育项目中，学生并没有认可或接受对世界的科学观点，仅仅是为了工具性或者考试的目的而学习吗？学生学习科学类似于人类学研究，他们不需要相信或接受他们学习的内容，只要能够掌握公式并在考试中给出正确答案就可以了么？

正如本书涉及的所有主题，很明显这些问题的答案不是来源于学习理论、课堂管理技能或者教师教育项目中大部分标准化的内容，而是需要历史和哲学素养。

科学、哲学和世界观：历史上的发展

2009年，在达尔文(Darwin)《物种起源》出版150周年的庆典上，科学、文化和世界观相互影响的观点得到了广泛认可。国际上，通过大众期刊、学术座谈会、报纸文章、博物馆展览、书籍和电视纪录片，公众可以了解学者早已认识到的事情：即《物种起源》不仅通过自然选择对物种的起源做出了新的诠释，而且它也引发了现代世界观的改变，对人类在自然界中的地位做出了新的解释³。达尔文的进化自然主义，后来又通过现代遗传学得到巩固和加强⁴，除了基督教原教旨主义者、穆斯林和一些坚信本土文化的人，进化论已经融入大多数现代世界观中⁵。

早在2005年，在爱因斯坦(Einstein)“相对论发表”100周年的庆典上，公众就能看到和欣赏到科学对世界观的贡献。爱因斯坦理论也许不如达尔文理论那般清晰和引人注目，然而随着1905年爱因斯坦三篇论文的出版，一些重要的事情发生了。物理哲学家弗里茨·罗尔利希(Fritz Rohrlich)评论道：

“量子力学的发展引发了本世纪最大的概念性革命，这也许是人类经历的最大变革。它可能已经超越了哥白尼革命、达尔文革命以及广义相对论对我们思想产生的影响。量子力学促使我们重新思考我们对自然界现有的一些根深蒂固的想法。”

(Rohrlich 1987, p. 136)

古代世界

尽管达尔文和爱因斯坦是科学影响哲学和文化最新和最广为人知的案例，这些影响可以追溯到西方自然哲学的起源。在科学、哲学、形而上学和世界观之间一直存在着相互影响。古典科学（自然哲学）、希腊唯物主义者以及原子论者泰勒斯（Thales）、阿那克西曼德（Anaximander）、留基伯（Leucippus）、德谟克利特（Democritus）、伊壁鸠鲁（Epicurus）、阿那克萨戈拉（Anaxagoras）等人一直在与柏拉图（Plato）和亚里士多德（Aristotle）的二元论、目的论以及目的论导向的世界观进行斗争。卡尔·波普尔（Popper 1963, Chapter 5）注意到前苏格拉底学派与其二元论、目的论的哲学反对者（主要是柏拉图和亚里士多德）之间存在着早期自然主义者和唯物主义科学传统的斗争，最终后者取得了胜利，前者经过将近2,000年，归入了“前苏格拉底学派”，或者说成为了哲学的热身运动，或雅典人冒险的目标。然而在小范围内，他们的声誉已经恢复了。一位代表性的希腊哲学历史学家对原子论者留基伯和德谟克利特做出了如下评论：

“原子论者通过提出原子论、关于运动的理论、事物第一性和第二性的区别和更为重要的自然进程是机械的这些观点，以及对自然进程是机械的这一观点的坚持，大大促进了现代科学世界观的形成。”

（Allen 1966, p. 15）

阿那克西曼德将雷声解释为一种声音，它不是由上帝或精神创造的，而是风粒子相互摩擦产生的。这很好地代表了唯物主义或自然主义的解释系统与前科学之间的分歧⁶。然而说到这些，需要记住，留基伯、德谟克利特、伊壁鸠鲁及其他古代原子论者的唯物主义思想与日常观察到的动物生活和人类经验很难协调——对二者来说，意图、意志和目的论都是无所不在的。无论古代（与现代）唯物主义思想的优点是什么，似乎都不太容易包含动物和人类的生活，而亚里士多德的分类和系统似乎更加合理且令人满意。正如一位当代遗传学者观察到的：

“作为科学系统的亚里士多德学派，它的分崩离析始于文艺复兴时期，并在物理学领域获得了成功。然而在生物学领域，亚里士多德学派一直持续到达尔文革命，而达尔文革命直到现在仍在继

续……事实上，仍有大量的现代生物学家支持亚里士多德在生物学上的观点。”

(Montalenti 1974, p. 4)

对波普尔及其他许多人来说，这场科学革命是“时光倒流”，重温了唯物主义本体论、非目的论、机械的因果关系 (Vitzthum 1995, Chapter 2)。沃利斯·萨奇廷 (Wallis Suchting) 描述了西方科学和哲学摇篮中的这些冲突：

“尽管柏拉图和亚里士多德之间有许多不同，但后者在一些根本方法上继续了前者的工作，比如为科学和目的论的世界观提供了形而上学的基础。基督教吸收了柏拉图哲学思想中的某些元素……但它哲学上的制高点在托马斯主义中主要还是更接近亚里士多德。原子论基本是一种边缘化的存在……直到它被伽利略 (Galileo) 恢复。”

(Suchting 1994, p. 45)

原子论与科学革命

17世纪，科学革命在欧洲爆发——彼时欧洲的文化、学术和宗教生活都渗透着亚里士多德的哲学思想，人们通过亚里士多德的著作去了解和判断本体论、认识论、道德和神学信念⁷。尽管新亚里士多德经院哲学对亚里士多德学说的理解并不完整⁸，但它在中世纪和文艺复兴时期的大学中占据着主导地位⁹。经院哲学不但与天主教堂紧密联系，而且在新教神学院和大学中也占统治地位 (Dillenberger 1961, Chapter 2)。正如一位评论员所观察到的：

“中世纪意味着基督教和教堂的绝对统治。经院哲学只能成为服务这种统治信仰的产物，处于教会权威的监督之下。”

(De Wulf 1903/1956, p. 53)

在经院哲学的本体论中，事物是由形式和质料组成的，这是“形式质料说”的教义和准则，也是亚里士多德学派传统的基础。弗雷德里克·科普尔斯顿 (Frederick Copleston) 曾恰当地指出，阿奎那 (Aquinas) 作为最伟大的经院哲学家，“继承了亚里士多德学派对物质的分析”

(Copleston 1955, p. 83), 并且认为:

“根据阿奎那的说法, 每种物质都是由实体形式和第一质料组成的。原理自身既不是东西也不是实体, 两者在一起才是物质实体的组成原则。只有物质实体我们才能够谈论它的存在。‘不能说质料存在, 而是物质本身存在’。”

(Copleston 1955, p. 90)

而正是“新科学”最终导致已经建立的中世纪哲学—神学世界观的分解。分解始于1543年哥白尼(Copernicus)的天文学著作《天体的革命》的出版(Copernicus 1543/1934)¹⁰。然而几乎是一个世纪之后, 随着1633年伽利略《关于两大世界体系的对话》(Galileo 1633/1953)的正式出版, 这种分解发生了戏剧性的变化, 50年之后, 牛顿的《数学原理》(Newton 1713/1934)出版。后面这两本书相隔仅仅50年, 却包含了科学革命的知识核心, 他们形成了伽利略—牛顿范式(Galilean-Newtonian Paradigm, GNP), 而这个GNP比任何经济上的国民生产总值(Gross National Product, GNP)都更具影响力。

新科学建立了哥白尼学说, 即太阳系的日心说, 它消除了人类在宗教和文化中处于宇宙中心地位这一特殊思想, 它对自然过程做出了机械的、合理的解释。在许多领域中, 它挑战并推翻了长期占统治地位的亚里士多德哲学系统, 尤其是与罗马天主教神学和道德紧密相关的方面。伽利略—牛顿范例引发了人们对宗教特权在自然和社会所扮演的角色的重新评价¹¹。

伽利略、笛卡尔(Descartes)、惠更斯(Huygens)、波义耳(Boyle)和牛顿的新科学(自然哲学)引发了一场巨大的改变, 不仅在科学领域, 还在欧洲哲学领域, 甚至在宗教、道德、政治和文化领域产生了持续的影响。正如在第二章中概括的, 早期的现代哲学家弗朗西斯·培根(Francis Bacon)、托马斯·霍布斯(Thomas Hobbes)、约翰·洛克(John Locke)、大卫·休谟(David Hume)、乔治·贝克莱(George Berkeley)、勒内·笛卡尔、戈特弗里德·莱布尼茨(Gottfried Leibniz)、伊曼努尔·康德(Immanuel Kant)都参与早期现代科学的发展并对其突破发挥了重要作用¹², 当然, 法国、英格兰、德国和苏格兰启蒙运动中的

哲学家后来也同样参与其中，17世纪的科学孕育出18世纪的哲学和世界观。当谈及大范围的思想变革时，随之而来的是不可避免的异常状况和限定条件，在这种情况下，可以说那个时代所有的主要自然哲学家在他们的科学实践、理论建立和阐述中都拒绝了亚里士多德哲学。新的哲学压倒性地转向了宇宙微粒论、机械论和实在论——它被称为“机械的世界观”（Dijksterhuis 1961/1986, Westfall 1971）。

在这种新的世界观中，没有实体的位置——亚里士多德哲学用实体来解释这个世界的事件：形式质料说、非物质实体、无遮蔽的自然和潜能、实体形式、目的论过程以及终极因都在哲学的天空中被驱逐了。关于原子论和新科学还有很多东西可说，但就我们目前的目的来看，重述克雷格·迪尔沃思（Craig Dilworth）的观察就足够了：

“隐藏在科学革命之下的形而上学是早期的希腊原子论……通过原子论，一个人可以获得隐藏在现象之下的关于物理现实的概念，获得一致的因果关系的现实……这使得这场科学革命变得与众不同。伽利略……这场科学革命的发起者，第一次给（阿基米德的）实证主义方法论赋予了本体论的支撑。”

（Dilworth 1996/2006, p. 201）

天主教教会对原子论的非难

原子论哲学的兴衰反映了科学、哲学和文化之间相互交错的关系。人文学科的学生可以从该关系中学到一些东西，而自然科学的学生则可以领会它的精髓。17世纪许多对新科学有所贡献的人——伽利略、笛卡尔、波义耳、牛顿等人都是基督教教徒，尽管他们与自己的教会之间关系紧张（前两位是罗马天主教教徒，后两位是英国国教徒）。一些信徒拒绝新科学；一些则想要新科学但拒绝与之相关的形而上学；还有一些，诸如约瑟夫·普里斯特利（Joseph Priestley）等人既接受了新科学又接受了原子论形而上学，并对他们的宗教本体论做出了相应的调整。17世纪的自然哲学家和18世纪启蒙运动的哲学家开始强调唯物主义、机械主义和新科学决定论，这引发了当时多数宗教人士的愤怒和不满，这些人认为这种新出现的世界观是反基督教的、无神论的¹³。历史学家理查德·韦

斯特福尔 (Richard Westfall) 很好地总结了当时的情况:

“自然科学建立在自然秩序的概念之上，自然秩序的概念与物质决定论之间的分界线并非不可侵犯。在17世纪，伴随着现代科学崛起而产生的自然机械论观点，与神迹的主张相矛盾，并对神圣天意的真实性表示质疑。此外，科学包含了自身的真理标准，它不仅否定了古代哲学家的主导地位，而且对圣经的权威性、对基督教的信仰提出质疑。”

(Westfall 1973, pp. 2-3)

韦斯特福尔继续说道:

“每个问题都可以用不同的方法来解决，以便协调科学和宗教之间的关系。然而一旦协调就意味着基督教的传统形式要发生改变。”

(出处同上)

对于许多科学专业的学生来说，科学和宗教之间的这些“宏大的历史”协调不断在个体层面上重复进行，而有关历史协调过程的分析和知识则有益于学生和教师¹⁴。

1615年，尽管伽利略一直被警告不要坚持或讲授哥白尼的地球运动理论，但直到1623年《试金石》出版之后，伴随对原子论的认同，他才面临宗教方面的严厉指控 (Redondi 1988)。反对者们发起了一场运动，对原子论的态度从一般的不安转变为明确的否定。

对基督教信仰而言，原子论呈现出一些特殊且严重的问题，其中最基本、最重要的一个问题是罗马天主教、希腊东正教和东仪天主教会关于基督圣餐的教学，即圣餐变体论。圣餐是天主教集会和教堂的神圣核心，而且这个集会不论过去还是现在都是教会祷告的核心。关于认为基督真实存在的信仰，在教会主持下通过牧师的神化形成，几个世纪以来一直是祷告实践和教义权威的重要表现。在过去几个世纪里，如果一个人否认真在论 (the Real Presence) 将会被判死罪，真在论在宗教法庭上等同于试金石，如果某个人的信仰不明确，那就意味着可怕而痛苦的死亡。

历史学家约翰·赫德利·布鲁克 (John Hedley Brooke) 赞同宗教对科学所做的积极贡献，也承认原子论产生的问题，“尤其是对于罗马天

主教会而言，对基督在圣餐典礼时出现有着不同的看法”（Brooke 1991, p. 141）。他写道：

“根据亚里士多德质料与形式的理论，可以帮助人们理解面包和酒神奇地转变为基督的身体和血液的同时，是如何保留它们那些可感知的属性的……但是正如机械论的哲学家所讨论的，这些可感知的属性依赖于尚不明确的粒子结构，任何内部结构的改变都会产生可识别的效果。假如真的发生改变，那么这些面包和酒的外观就不再是面包和酒。”

（Brooke 1991, p. 142）

原子论者站在哲学的立场上坚持认为，所有合理的解释最终都可以归结为原子的属性和原子的运动及它们之间的相互作用。他们那时的科学受到哲学的限制。显然19世纪对于科学本体论来说，引力和场的加入不是建立在哲学的基础上，而是建立在科学的基础上，看起来只有求助于后者才能使科学解释和过程达成一致。而有关原子论在这之后的历史第九章中已有讨论。

哲学是宗教和政治的“侍女”

哲学史和科学史之间有着漫长的对话，它们共同成长、互相学习，正如爱因斯坦所认识到的：

“认识论和科学之间的互反关系是值得注意的，它们互相依赖。与科学没有联系的认识论是空洞的。而所有我们能想到的没有认识论的科学是原始的、混乱的。”

（Einstein 1949, p. 683）

然而，从一开始就伴随着这场对话的是第三方：主要是宗教或政治。一个永恒不变的话题是第三方介绍、修正和指导主要对话的权利。当前，美国和伊斯兰教国家就进化论的地位以及科学是否需要说明人类的起源、灵魂、启示录的权威性等问题存在争议，这是宗教或政治介入哲学和科学对话一个很明确的案例。同样，苏联政府将哲学与李森科遗传学说（Lysenkoist genetics）联系起来，使其保持一致。

罗马天主教传统

罗马天主教堂一直信奉中世纪的观点“哲学是神学的侍女”，哲学服务于宗教和神学的目标。这一观点由16世纪天主教教徒输入，而元老院的决定权一直延续到20世纪。意大利十三世教皇利奥（Pope Leo XIII 1810—1903）发布通谕《永恒之父》（*Aeterni Patris*），将托马斯主义（Thomism）命名为“永恒的哲学”，并指导天主教教育协会将哲学和神学教学建立在托马斯主义之上。1914年，庇护十世（Pius X 1835—1914）颁布了天使博士（*Doctoris Angelici*）通谕，里面说道：

“我们希望所有哲学教师和神学教师都要接受警告，如果与阿奎那的哲学稍有偏离，尤其是在形而上学方面，那么他们将陷入重大危机之中。”

（Weisheipl 1968, p. 180）

直至20世纪最后几年，教皇约翰·保罗二世（Pope John Paul II）才在1998年的教皇通谕《信仰与理性》中提出，天主教堂放宽托马斯主义作为官方宗教哲学¹⁵。

托马斯主义传统对信奉天主教的欧洲国家（尤其是爱尔兰、葡萄牙、波兰、西班牙和意大利）、拉丁美洲国家、菲律宾及其他地区的文化和个人产生了深远影响。几个世纪以来，托马斯主义被用来支持教堂广义层面上的性教育。教堂的政治力量 and 影响体现在它将这些教义转换成了国家法律，不道德的行为即是不合法的，会受到国家的制裁。这不仅仅是针对罗马天主教徒，而是面向所有公民。在这些案例中，谴责的理由是因为这些活动是“非自然的”，这种整体的概念来源于亚里士多德将物质和行为视为自然的理解，不加干涉时它们就是“自然的”，当受到干扰时，它们就是“暴力的”或者“非自然的”¹⁶。科学在托马斯主义权力和范围的终结中发挥了作用，最终，道德和法律的大厦建立在科学之上。这是科学对哲学和文化产生明确影响的一个案例，也是第三方介入哲学—科学对话产生明确负面影响的案例¹⁷。

伊斯兰教传统

同样的动力在伊斯兰世界中衰竭了，但中世纪哲学服务于古兰经的

观念仍然存在¹⁸。容纳或认可任何不符合古兰经假定的本体论、认识论、政治和伦理的哲学系统，对穆斯林来说，即便不是完全不可能，也是极其困难的事情。“知识的伊斯兰化”是伊斯兰教的一部分，也是作为穆斯林的一部分，这个观点被广泛接受。它的目的是反击西方教育和文化的人文主义和非宗教的基础，建立在五个重要原则基础之上：

1. 人类的主权被认为是至高无上的（人文主义）；
2. 将所有的知识都建立在人类的理性和经验上（实证主义）；
3. 思想和表达自由不受束缚（自由主义）；
4. 反对接受“精神的”事实（自然主义）；
5. 个人主义、相对主义和唯物主义。

对科学革命的典型伊斯兰教评价由赛义德·纳斯尔（Seyyed Nasr）提出：伽利略和牛顿的新科学对西方产生了不幸的结果，因为它意味着：

“这是人类历史上第一次用自然秩序完全代替宗教理解，它不仅是非宗教的，而且也挑战了宗教观点的最基本原则。”

（Nasr 1996, p. 130）

纳斯尔重复了西方宗教和浪漫主义者对新科学的批判，他写道：

“此后，只有自然量化的一面被认为是真实的，新科学被视作唯一关于自然的科学，自然秩序的宗教意义是不相关的，至多也只是对‘运动中的物体’在情感和诗意上的回应。”

（Nasr 1996, p. 143）

这些以及其他顾虑引发了人们对“伊斯兰科学”的不安（Hoodbhoy 1991），“伊斯兰科学”是一个已经获得巴基斯坦政府和其他伊斯兰国家支持的项目。对于这样的科学，形而上学超越并凌驾于科学之上，外在的基于古兰经的形而上学对科学进行评价并决定了科学中得到认可的认识论和本体论，当然，它也决定了学校科学课的内容和思想。

其他传统

当第三方与政治权力和制度权力联系到一起的时候，它的干预就变得令人担忧，就好比托马斯主义之于罗马天主教会，伊斯兰教之于伊斯兰国家，印度教之于不同时期、不同政府统治下的印度城邦¹⁹，以及纳

粹主义之于希特勒时期的德国²⁰。同样的情形也适用于以下这种情况：传统信仰体系控制传统本土文化的教学内容和教学思想。在这些文化中，哲学和科学的自由交流与对话是不可能付诸实践的，某些主题是禁区，某些方法论是需要的，而某些方法论则是禁止的²¹。

教育的回应

在上述全部案例中，当地的科学和哲学都是为了符合统治阶级的、制度化的、宗教的或政治的世界观，教育机构出于国家、宗教、文化或经济利益的考虑，被迫接受来自“上层的引导”。1925年，发生在田纳西州的约翰·斯科普斯（John Scopes）的“猴子审判案”（Monkey Trial）可能是外部形而上学侵犯科学教育最著名的事件（Larson 1997）。在美国，斯科普斯审判会定期重复举行——1981年美国阿肯色州小岩城审判案（Little Rock Trial）和2006年宾夕法尼亚州多佛审判案（Dover Trial）是两个最广为人知的案例。这些都是著名的侵犯案例，这样的干预或控制在许多国家，特别是伊斯兰教国家中是完全制度化的。进化以及其他对宗教不利的主题在课程中是不会涉及、也不允许教授的。没有明显的或者引人注目的外部侵犯，这仅仅是一种常态。

这些文化—政治环境为课堂中的科学教师带来了严峻的挑战。教师应该努力去教授最先进的科学、培养学生独立的思想，还是不论主导意识形态如何，他们都应该按部就班地教学呢？教育应当有其内部的合理组织形式，还是必须沿着最新的意识形态或政治足迹来发展？这些问题都需要发人深省的哲学教育——不幸的是，当代的科学教师教育大多忽略了这些东西，不仅仅是教育哲学，连最基础的学科内容也被逐步删除，取而代之的是教学方法和课堂管理的培训，然而这种“学徒制”模式的教师教育并没有给教师带来反思原理、理解他们所教学科的历史与哲学的机会²²。

科学与精神世界

世界上几大主要宗教都与科学有着千丝万缕的联系，宗教一直在探索它们的本体论、认识论以及道德信仰（它们的世界观）是如何与科学发现和科学世界观协调的。有时这种参与是相互促进的，但有时对参与者来说又是毁灭性的。对科学和世界观之间的相互作用来说，宗教是其

中最为开放和备受争论的部分。从国家宪法的组成到最高法院裁决，从编写国家和地方课程，从多元文化以及本土科学的争论、教科书的选择到课堂教学和师生互动，宗教都是政治家和教育家最常争论的内容。基督教和科学之间的争论与调整——就创造、进化、天意、神迹、启示而言，都是人们长期争论的话题²³，而这些也将成为本章关注的焦点问题。关于进化论教学的讨论是很神奇的，世界各地的报纸专栏几乎每天都有相关的信息。本节仅讨论这个领域中的众多问题之一：心灵、精神、鬼魂和天使存在的假说，卫理公会的创始人约翰·韦斯利（John Wesley）将这些称为“看不见的世界”。

教育和精神世界

尽管天使和灵无处不在，被赋予神奇的力量，并被认为是引发海啸、艾滋病、精神分裂症、通奸等的原因，但他们从未出现在实验室或者科学课本中，并未在对自然、社会和个人世界的科学理解中占据一席之地。科学并没有确认任何精神与世界之间存在因果关系，那些认为有相互作用的人全面撤退，建立了另外一种科学解释，这引起了一个特定的断层。这些主张与世界观和科学行为之间既不一致，又不相交。否认恶灵或恶魔的效力和存在涉及前科学。基本的声明是，恶灵的占据“是没有证据的”，而这种证据（恋童癖或儿童死亡）可以由其他（自然）原因解释。这种基本主张将讨论引向科学与证据评价领域。然而，一旦这种转向发生，为什么不将检验延伸至善灵和天使的作用与存在上呢？

这里产生的教育问题是，如何处理这样的信念？应该什么都不做，让这些文化现状毫无改变地保留吗？应该鼓励学生去相信善灵而不是恶灵吗？如果鼓励学生相信善灵，那么相信的原因究竟是出于本体论（实际上有这样的东西）还是出于工具主义（这样的信念是无害的，它鼓励好的行为，是文化或者宗教传统的一部分）？或者选择不相信灵的存在？约瑟夫·普里斯特利选择了后者，作为18世纪著名的英国科学家、历史学家、哲学家、神学家和反对教会的牧师，他说：

“恶魔引发人们疯狂，扰乱他们的心智，尽管这种说法只是异教徒的信念，是救世主时代的犹太人以及使徒本身的信念，但仍是非

常不可思议的，因为事实可以用一种更自然的方式去解释。”

(Rutt 1817—1832/1972, Vol. 7, p. 309)

对普里斯特利而言，当耶稣将疯狂的治愈归因于恶魔的驱逐，他是错误的，因为后来的哲学和科学显示并不存在可被驱逐的恶魔²⁴。

传统的非西方形而上学

作为非洲科学教育的领导者，贾格德 (Olugbemiro Jegede) 对“所有非洲国家”统一的世界观进行了阐释，并认为科学教育必须“扎根”其上。这些世界观分别是：

1. 个体生命的信仰，其精神力量通过神灵（雷、火、铁）和祖先来传递；
2. 转世和死后生命的延续；
3. 在非洲的传统思想中，人类是宇宙的中心；
4. 因果关系理论 (Jegede 1989, p. 193)。

贾格德引用了13位人类学家和教育家的工作，他们确认非洲人的自然观是人神合体的，这与西方科学机械论的观点相反。在之后的出版物中，贾格德提供了一个关于非洲和西方文化基本区别的表格，如表10.1所示 (Jegede 1997, p. 7)。

表10.1清楚地展示了非洲本土科学和正统科学之间的分歧。教育和哲学的任务是如何处理分歧：支持前者还是后者？或者两者兼顾？对每一种选择，其知识、文化和社会成本是什么？这样做值得吗？贾格德的观点如下：

表 10.1 传统非洲科学和西方科学

传统非洲科学	西方科学
拟人化的	机械、准确和假说驱动的
一元论的活力论和形而上学	寻求实证的法律、原理、公众准则和理论
建立在宇宙学与传统宗教的交叉之上	公共财产，脱离宗教
口头沟通	主要通过发表文献传播
前人的知识是不容置疑的真理	真理是暂定的，可以被所有人质疑的
学习是一个集体活动	学习是个体的事情

“从这些可以看出，设计科学教育的需求满足了非洲的需要，以这种方式，非洲人对自然的观点、社会文化因素以及逻辑辩证推理嵌入非洲的形而上学中，迎合了不断变化的全球社区。”

(Jegade 1997, p. 15)

想要理智地处理这些问题，不仅需要常规教师教育课程专注于课堂管理技能和学习理论，还需要对历史和哲学进行广泛深入的了解。当波特兰学区采用《波特兰非裔美国基准论文》指导它的科学教育时，历史和哲学知识不足这一漏洞就变得特别明显 (Adams 1986, Martel 1991)。

这里不是讨论激活当代文化并活跃科学的大量非西方世界观的地方²⁵，也不是讨论动物生活、天文学、园艺和传统社会所拥有的技术细节和实践知识的地方。相反，我们要着重关注传统信仰体系的世界观或者“理论”方面，以及在科学教学中如何识别和处理它们。贾格德的观察足以说明这些论点的思路是先进的，也就是说西方科学一些核心的认识论和本体论假设与传统信仰体系的核心假设有冲突。假如如此，那么就需要深刻的教育来回应这些问题。

以下是本体论争论的问题：

1. 世界以这样的方式构成是为人类利益服务吗？
2. 世界的进程是目的论的吗？即事件和行为的发生是为了带来一些合适的最终状态吗？
3. 精神上的影响会激活和控制非生命与非人类生命的进程吗？

西方科学传统经过几个世纪的调查和激烈的辩论，对上述问题的答案都是否定的，然而许多传统信仰体系却认为上述某些或全部命题是正确的。在一群前苏格拉底哲学家中，人们能够认识到他们为了将对世界的思考和神话世界观进行分离所做的缓慢、笨拙的尝试，神话世界观即上面提到的拟人化、万物有灵论和目的论的维度。西方科学慢慢摒弃了这些特征。

以下是认识论争论的基本问题：

1. 知识来源于自然状态下对事物的观察吗？
2. 知识的主张要通过成功的预测来验证吗？
3. 是否由特定类群或权威人物来定义知识或成为知识的管理者？
4. 知识是一个固定不变的系统吗？

对于这些本体论问题，西方科学传统对每个问题的回答都是“不”，而传统社会则仍旧肯定了其中的部分或全部。当然，关于自然状态、预测、知识的制度化、知识增长与革新的对抗这些方面还有些争论。然而，即使通过再精细的描述，科学本体论和认识论与许多传统本体论和认识论之间的冲突仍然很明显，这也是罗宾·霍顿（Robin Horton）在他的非洲和西方科学经典研究中得出的结论。在列出非洲和西方科学的许多相似点之后，他将注意力放在总结二者深层的差异上。霍顿认为：

“关键区别非常简单，即在传统文化中，并没有产生对已建立的理论原则主体的替代物的成熟意识；而在以科学为导向的文化中，这种意识是高度成熟的。正是这种差异导致我们认为传统文化是‘封闭的’，而科学导向的文化是‘开放的’。”

（Horton 1971, p. 153）

在传统社会中，关注教授西方科学的一个原因是因为这种冲突很快渗透到了其他领域。几乎所有的评论员都观察到传统科学比西方科学具有更强的整合性，能够整合其他重要的文化体系。传统科学与宗教、健康、政治、社会结构和文化风俗相关。令人担心的是，西方科学不仅会颠覆传统科学，而且最终会推翻其他重大社会机构和信仰，从而破坏传统文化。

对西方科学可能会破坏文化和传统机构的恐惧通常是不合时宜的，事实上它常常表现出一种家长式作风，即假定其他文化是软弱的，以至于不能按照现代科学的需要做出明智有判断力的决定。巴布亚新几内亚法律委员会的成员不会停止成为科学文化成员的脚步，他们声明为巫术提供能量的恶魔是不存在的。巴布亚新几内亚正在逐步调整、成长以及走向现代化。当他们确定是病毒而不是恶魔导致了艾滋病时，南非也会追随着他们的脚步，成为他们文化的成员。

多元文化科学教育

以上给出的例子不但满载了精神文化和传统，而且明显秉持了非西方的形而上学和认识论。在这样的文化和社会中，科学教学提出了一些

重要的事情，即科学教育的目的和理解科学与相信科学之间的区别。一些人主张，科学教育应当远离那些无法触及的文化信仰。学生应该在教室门口卸去他们的文化世界观（本体论、认识论、形而上学、权力结构、宗教），然后走进教室去学习，这有助于理解科学内容，等离开教室后，再回到他们的文化中成为虔诚的参与者。这种方式是在倡导用接近于学习人类学的方法来学习科学。就像人们期待人类学家可以去了解不同社会的信仰和实践，但并不期待他们一定会采纳或者相信这些内容。有人会说，学生可以用相同的方式学习科学。这种方式是“观众式”学习法，即一个人去学习某些知识，但不见得相信或认同这些知识²⁶。这种学习类似于人类学家和历史学家研究其他文化和历史时期的学习：他们只是去学习别人相信什么，但他们自身却不需要相信这些内容。

边境通道

格伦·爱根海特（Glen Aikenhead）在他一篇被广泛引用的论文中提倡一种策略，并将其称为“边境通道”（Aikenhead 1996）。这就像游客一样，当他们穿越边境的时候，即使他们暂时接受国外关于驾驶、饮食、着装和语言的习俗，也不会失去自己的文化认同。学习科学的学生也一样，他们不应该因为科学实验室没有地方呈现他们丰富的信仰就失去他们的文化认同（作为传统的罗马天主教徒、基督教原教旨主义者、知识设计者、巴布亚新几内亚高地人等等）。这些学生是“科学领域”的游客而不是移民。这是一种教育学的NOMA形式，它从库恩—费耶阿本德式的不可通约的主张中获得知识食粮，这一主张由社会建构主义的自由主义提出，它是深刻的，但它与启蒙运动期望的科学观念内化的传统很不一致。

启蒙运动哲学家和当代“边境通道”科学教育者之间的区别是很明显的，可以说每个人对科学的理解都有很大的分歧。情况确实如此，我们要对教育者必须学习的主张进行思考：

“如何避免科学教育的特权，将孩子从‘真理政权’中解放出来？‘真理政权’妨碍了孩子运用当今人类知识的宝藏，这些宝藏中的知识形态多种多样，用于解决他们当前及未来可能会遇到的问题。”

（Van Eijck & Roth 2007, p. 944）

“科学的社会研究”将科学描述为机械的、唯物主义的、还原论的、实证的、理性的、情境的、数学理想化的、公共的、意识形态的、男性的、精英主义的、有竞争力的、剥削的、客观的、暴力的 (Aikenhead 1997, p. 220)。

这种说法令人非常费解。这种说法旨在描述谁的工作吗？是伽利略、牛顿、惠更斯、普里斯特利 (Priestley)、达尔文、孟德尔 (Mendel)、法拉第 (Faraday)、马赫 (Mach)、汤普森 (Thompson)、洛伦兹 (Lorentz)、麦克斯韦 (Maxwell)、卢瑟福 (Rutherford)、普朗克 (Planck)、爱因斯坦、玻尔 (Bohr)，还是居里 (Curie)？它描述了爱德华·詹纳 (Edward Jenner) 在研发天花疫苗方面的工作？还是描述了乔纳斯·索尔克 (Jonas Salk) 和阿尔伯特·萨宾 (Albert Sabin) 研发脊髓灰质炎疫苗的工作？我们无从得知究竟谁的科学研究符合该描述。这显然是一个合成体或是有待拆开还未完成的拼图。按照爱根海特的说法，科学课是否应该排入课表是一件值得商榷的事情，它应当被定义为限制级，跨越边界还是很危险的。

其他著名的、有影响力的科学教育者接受了爱根海特对科学的不利评估。例如，当前主要科学教育手册中提到：

“评论调查者寻求压力的第一个地方可能就是实证主义（或现代主义）的科学……现代主义的科学致力于扩张或增长……现代主义科学致力于产生利润和测量方法……现代主义科学致力于保护官僚结构……科学是一种统治力量，不是因为其内在的真实，而是因为它带来的社会权威（权力）。”

(Steinberg & Kincheloe 2012, pp. 1487—88)

这里的主张其实并不清晰。这种主张要求科学教育者见多识广，并且能够仔细思考他们教授 HPS 的方法，仅仅依靠偶尔的阅读是不能达到这一点的。上述解释不仅让人十分困惑、矛盾，而且不能持久。将主题置于一旁，依赖测量工具（尺子、天平、温度计、晴雨表、时钟）而不是主观地对长度、重量、温度、压力和时间进行评估；利用数学；引入理想化和抽象概念；评估客观证据；具有公开性、团体性、出版属性、批判性和辩论性——所有这些都为 17 世纪欧洲科学革命的发生奠定了基础，进

而促使其发展到现在的国际地位。当然，哥白尼和伽利略身后没有社会权威来强制推行他们的日心说，反而李森科事件背后有强大的斯大林政权支持他的非孟德尔遗传学主张，这种权威最终被证明一文不值。这种理解没有出现在上面提到的不受支持的科学批判中。

自然主义

西方科学行为以自然主义方法论（methodological naturalism, MN）为前提。这种观点认为，在进行科学研究时，无论世界发生了什么都可以用自然机制和实体来解释，这些实体和机制要么由科学直接揭示，要么通过科学发现原理。这个方法论的假定不排除奇迹或神的干预以及其他非科学的原因，它仅仅意味着在寻求科学解释时这些方法不能提供帮助。从历史角度来看，由一个更加开放、混合或放松的方法论，再到有MN功能的转变是科学探究的判定基准。正如罗伯特·彭诺克（Robert Pennock）所陈述的：

“科学完全放弃了对超自然的探索。从很大程度上来讲，这只是一系列特定的‘超自然理论’和特定的自然选择之间持续竞争失败带来的结果。”

（Pennock 1999, p. 282）

美国国家科学院（the US National Academy of Sciences）支持如下立场的：

“科学局限于通过自然原因解释自然世界。科学无法解释任何超自然现象。上帝是否存在对科学来说是一个不确定的问题。”

（NAS 1998, p. 58）

这似乎是一个不错的领域划分，一个和平共处的结果，但它忽略了一个明显的问题：科学是否可以提供公认的证据证明上帝的存在。许多这样的证据（设计、祷告的功效、神秘的经验）存在于科学的视界之内，而科学不必对它们保持中立。

本体论自然主义（ontological naturalism, ON）是自然主义更严谨的版本，有时也被称为形而上学自然主义。这个观点认为所有的事情都

存在科学解释，而超自然的解释（如神的干预、奇迹）是不存在的。许多人认为ON是纯粹的教条主义，而且如果它作为一种哲学原理被提前提出——谁将提前提供证据来解释世界如何运转以及世界中有什么？ON的确可以作为教条主义。然而通过以下两步，它可以变得没那么教条：

1. 到目前为止，没有任何可信证据能够证实假定的非自然实体或非科学领域实体的存在。

当然，许多人反驳1，而且它是一个整体上独立的观点。然而，一些人接受1的观点，认为ON并不遵循这一点，或者仅仅是教条式地遵循——因为没有人知道会出现什么样的证据。而ON的非教条主义者可以进而转到第二个论点：

2. 不要相信没有证据的事物。

如果2能够得到确认，那么ON就会紧随其后。教条主义声称宁可相信2，也不要相信ON。然而，相信2并不需要是教条主义，它可能站在“错误”的立场上，它的对立面，即持有没有证据就是教条主义的信念。后者可以是假说形成的一部分，但没有证据是不能成立的。本质上这也是伯特兰·罗素（Bertrand Russell）的“茶壶”论点：

“我应该称自己为不可知论者，但是从实践目的上来讲，我是一个无神论者。我不认为基督教上帝存在的可能性大于奥林巴斯众神或者瓦尔哈拉殿堂存在的可能性。看另一个例证：没人能证明地球和火星之间不存在类似瓷茶壶的东西在椭圆轨道上旋转，但也没人认为这个问题需要在实践中考虑。我认为同样不需要去考虑基督教上帝的存在。”

（Russell 1958）

科学方法论和本体论自然学家都承认任何种类的实体（例如原子、场、力、夸克、玻色子、费米子、暗物质）的存在，这些实体通过科学假定或探索发现，它们与自然界中其他事物有规律性的因果关系。然而，本体论自然学家不承认精神实体或神圣实体的存在，以及任何没有得到科学证明且与自然界存在有效因果关系实体的存在。

虽然经常被混淆，但实在论和自然主义（包括唯物主义）之间还是有区别的。实在论简单地断言：存在一个独立于人的意识之外的世界。

这样一个独立的世界可能包括精神、思维、共性、数学对象、形式或其他独立存在。实在论不会加入或者排除任何特定种类的假定存在体。神学的实在论者认为天使是存在的，神学的工具主义者相信“天使”这个词是“使人类产生行动”或“加强我们文化纽带”的缩写。自然主义是实在论的一个亚种，它声称唯一存在的东西是由科学假设并且成功并入成熟理论中的东西；反过来，唯物主义是自然主义的一个亚种。传统的宗教信仰者拒绝ON，但宗教科学家在实验室中一直接受MN——否则他们就会被排除在科学事业之外²⁷。

唯物主义是本体论自然主义的一个亚种，但是它对“什么可以称为存在”的标准更为严格。基本的或“过时的”唯物主义者认为只有材料、物质、“三维”物体可以称为存在，即能够被绊倒的物体是存在的。他们拒绝非物质科学实体的假设，认为这样的假设是科学的失败，是对理想主义的倾斜。这很明显是先验形而上学的立场，因为它是从科学实践中推导出来的。显现唯物主义是一个更复杂的版本，在这个版本中，世界被看做是物质的，但却被分为不同等级。材料聚合的属性大于并且不同于构建模块的属性。所以细胞具有不同的分子属性，大脑具有不同的神经元属性，社会具有不同的个体属性，等等。对于显现唯物主义者来说，世界是在不断变化和发展的，新的属性作为材料构成会变得更加复杂。正因如此，显现唯物主义本质上是反还原论的²⁸。

科学主义

科学主义是自然主义的一个亚种，但许多持有自然主义观点的人却反对科学主义²⁹。与实证主义类似，在社会科学、“批判”和后现代主义哲学，特别是建构主义科学教育中，科学主义给人留下了不好的印象。在这些圈子中，“科学主义”被认为是还原论“主义”、心理封闭“主义”、浅显“主义”、文化帝国“主义”和其他一些没有判断力、未受良好教育，以及不敏感人群希望与之相关的“主义”的同义词。难道科学主义就如此糟糕，明显地超出了理智范畴？

正如第二章所述，科学主义的开端可见于牛顿、孔多塞(Condorcet)和早期启蒙哲学家的革命性主张，新科学的方法和前景应该被用于实验室之外，它们应该用于理解和解决其他紧迫的社会问题和文化问题，包

括与迷信有关的问题、不合理的教会运动以及封建势力的问题。正如第一章所说，300年之后，AAAS重复了“原始科学主义”，它坚持：

“具备科学素养的人能够意识到科学、数学和技术之间是相互依赖的人类活动，既具优点也有局限性；能够理解核心概念和科学原理；能够熟悉自然世界并识别它的不同与统一；能够使用科学知识和科学思维来解决个人和社会问题。”

(AAAS 1989, p. 4; 斜体字注释)

在《科学素养的基准》一书中，AAAS认为科学教育必须“让学生准备好在现实世界中生存——该世界充斥着家庭、工作场所、社区以及关于整个星球的问题”(AAAS 1993, p. 282)。科学教育在解决常规问题和社会改进的教育目标上，一个独特的贡献在于培养和完善科学思维习惯，这是从原始科学主义转向科学主义的开端。

科学主义认为，只有自然科学的方法可以提供关于自然、社会和个人世界的知识，除此之外没有其他路径去了解这些知识。通过聆听宗教老师的教诲、手持显灵板、祈求媒介、回忆梦境、阅读经文或者咨询占星师，不能给人带来任何关于自然知识(地震)、社会环境(经济的崩溃)、公共事件(战争爆发)或者个人身体状况(突发疾病或者死亡)，甚至个人心理状况(妄想、情感状态等等)的信息。这类资源可能会引发一些假设或观点以供检验，但它们无法提供任何知识。因此说，科学主义并不是它惯常所说的“超出了这种范畴”。

至少一个多世纪以来，科学主义面对的一个挑战是科学的社会科学存在的可能性。一个著名的传统——尼古拉斯·孔多塞、丹尼斯·狄德罗(Denis Diderot)、让·勒朗·达朗贝尔(Jean le Rond d'Alembert)、奥古斯特·孔特(Auguste Comte)、奥图·纽拉斯(Otto Neurath)、爱米尔·杜尔凯姆(Emile Durkheim)认为社会科学必须是科学的，但是这一传统遭到蔑视，被指控为“模仿科学”(von Hayek 1952)，各种类型的非科学社会科学已经逐步发展起来，诠释社会学、释义学、人文主义等等。虽然这并不是解决争端的时机，但很明显非科学社会科学已然对主要的历史、经济、社会结构或事件——如全球经济危机、阿拉伯之春、入侵伊拉克等进行了阐明，而不仅仅是解释。

科学主义的捍卫者马里奥·邦格 (Mario Bunge) 通过使用“科学进步生态图”(Bunge 2010) (图 10.1) 解释了他的立场。对邦格来说, 科学需要并且只能在有政治道德和哲学信仰的社会和知识环境中蓬勃发展。

- 人文主义: 科学家需要增加人类的福祉, 而不是增加苦难、促进商业发展或提升政治优势。后者更易导致科学腐败 (由纳粹德国、俄罗斯斯大林主义或当前“大企业”科学可见)。科学可以且应该被使用, 但应该用于增加人类福祉和改善人类生活。
- 系统主义: 科学家需要认识到这个世界没有孤立的事件、机制或问题。结构和事件是系统的、具有因果关系的整体组成部分, 正如约翰·多恩 (John Donne) 的名言, “没有人是一座孤岛”。由此, 好的科学能够产生跨学科的研究领域, 如地球物理学、天体物理学、生物化学、社会心理学、分子生物学、心理语言学, 等等。而且, 好的科学会把占星心理学或创造科学这样的混合领域排除在外。

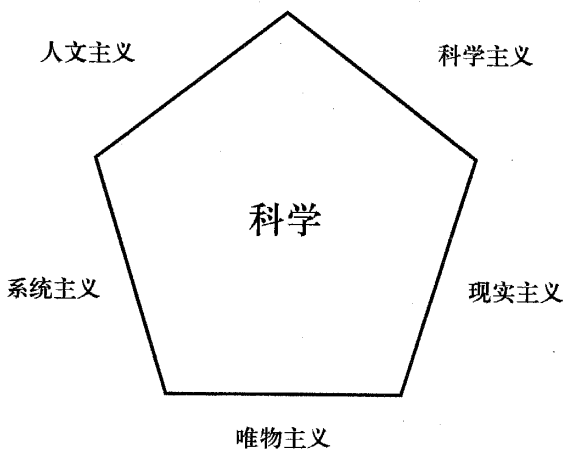


图 10.1 邦格的科学生态系统

- 唯物主义: 科学家需要在已被认可的科学本体论范围内寻找各种事物之间的原因和解释。自然主义符合这种要求, 但唯心主义和超自然主义或传统主义则与这种要求相背离。在某种程度上, 如果一个社会相信神或精神导致了地震, 那么地球物理研究的经费就会受限。
- 现实主义: 科学家需要认识到, 有一个独立于人类意识或经验的外部世界。科学尝试去解释这个世界, 而外部世界则对这些试图理解它的科学努力做出判断。

- 科学主义：科学家需要持有这样的信念：科学方法可以应用于实验室之外，它是认知世界和社会的唯一途径。没有这一认同，社会和文化问题的解决将是完全无效的。祈祷中东冲突结束可能是一个很好的文化参与活动，但它无法解释冲突并对冲突做出补救。

对于邦格而言，在科学生态圈和文化环境中，上述因素中的一个或多个在一定程度上是缺失的，科学是受限的、妥协的、误导的，或者变成伪科学。

科学和宗教的兼容性

对教育者来说，科学和宗教的兼容性及不兼容性是一个长期的问题，它对学校与社会之间的相互作用以及学校生活、课程和课堂教学有影响。考虑问题时，我们需要对许多可能会混淆的问题进行区分³⁰。

首先，必须调整宗教信仰和理解来适应已被证明的科学事实和理论吗？其实关于这个问题已经没有人会进行严肃的争论了。明智的信徒和见多识广的神学家承认，宗教信仰需要修正或给予非文字解释来适应已证实的或高度可能的科学主张。18世纪启蒙运动信徒约瑟夫·普里斯特利讲述了一个他在集会上的故事：

“一位善良的老妇人被问及是否相信鲸鱼吞下了约拿（Jonah）是事实，她回答说相信，而且补充道，如果《圣经》说约拿吞下了鲸鱼，她也会相信。”

普里斯特利认为这样的信念仅仅表明“信念”这个术语在上下文中被误用：“一个人‘相信’某物是什么，是因为权威，不是因为事物的本质，对此我无法想象。”（Rutt 1817—1832/1972, Vol.6, p. 33）

自圣奥古斯丁（Saint Augustine）起，针对这一话题，所有严谨的思想家都认可普里斯特利的说法。曾有争论，关于事实性科学主张需要何种证据才能引起与之竞争的事实性宗教主张的修正，圣奥古斯丁认为，只有面对完全被证明的“科学”主张时才需要修正。而这场辩论的细节并没有对现今的论证产生影响³¹。

第二，宗教信仰徒可以成为科学家吗？从某种程度上说，这个问题其实毫无争议。作为人类学和心理学一个很简单的事实，过去和现在一直

有不计其数的宗教信仰徒成为科学家。圣公会牧师约翰·波尔金霍恩(John Polkinghorne)就是可以挑选出来的典范,他既是物理学家也是宗教信仰徒(Polkinghorne 1991, 1996)。我们可以找到许多这样的人,他们为《宗教与科学期刊》贡献力量。关于当代基督教科学家的汇编可以参见莫特(Mott)(1991),此外还有关于印度教、伊斯兰教、佛教、摩门教和犹太教科学家的汇编。这些名单与科学和宗教信仰的心理兼容性相关,但就他们自身而言,该名单不承担科学与宗教信仰之间的哲学与理性兼容性,编撰这样的名单可能更倾向于把人放在兼容性的位置,但还需要额外的论证。一些科学家是占星师,还有一些科学家宣扬灵魂;一些人认为自己是拿破仑转世,还有一些人是种族主义者或持有性别歧视的观念。整个信念的范围是十分宽广的,而事实上也一直有科学家持有这些观点。

基于人类学事实,没有人怀疑科学与任何信念系统是相融合的,回想诺贝尔奖获得者菲利普·莱纳德(Philipp Lenard)和约翰尼斯·斯塔克(Johannes Stark),他们都是纳粹思想家。科学家也是人,人类当然可以在同一时间去相信各种各样的事情,但是这种心理兼容性不会对他们信仰的理性或合理性产生任何影响,也不会对科学体系和信仰体系之间的哲学兼容性产生影响。信仰体系的理性更少,只是凭借一个或多个科学家对它们的相信。这种理性是富有逻辑或规范的。哲学上比较有趣的问题是,科学家是否可以是有理性的宗教信仰者(或者占星家、占卜者、转世重生之人、种族主义者、性别歧视者、纳粹主义信徒等等)以及这个观点的论据是什么。

第三,宗教与科学的形而上学及世界观兼容吗?科学和宗教的形而上学及世界观之间哪些地方不兼容——正如上面提过的原子论和传统的罗马天主教教义,为了调和这些不同通常采用以下选择进行声明:

1. 科学没有形而上学。它仅仅处理表象,并不对现实做出声明。这是天主教实证主义者皮埃尔·迪昂(Pierre Duhem)的著名选择³²,也是许多原教旨主义者的声明,特别是对于进化论,他们认为“这只是一个理论”(Ben-Ari 2005)。

2. 科学的形而上学是错误的,至少对那些谣传的、与宗教信仰不一致的形而上学来说是错误的。这是上面讨论过的学术传统提倡的选择,代表人物有克劳德(Claude)和上文引用过的赛义德·纳斯尔,以及哲

学神学家如阿尔文·普兰丁格 (Alvin Plantinga, 2011)、马斯科尔 (E.L. Mascall, 1956) 等众多人。

3. 可以存在平行的、同样有效的形而上学。这是一个古老的选择,但在最近由斯蒂芬·古尔德在他的NOMA构想中再次提出 (Gould 1999)。古尔德再三声明:

“科学的教权涵盖了实证领域:宇宙是由什么组成的(事实)以及为什么它以这种方式运转(理论)。而宗教的教权覆盖有关终极意义和道德价值的问题。这两个教权不重叠,也不包含所有的探究(例如思考艺术的教权和美的意义)。”

(Gould 1999, p. 6)

NOMA的问题是——除了古典自然神论者,对他们来说上帝在天堂,距离他们很远,他们与上帝的创造没有关系——宗教传统的核心信念包含了两个重叠的领域:超自然已经参与到了自然中;上帝参与了他的创造;某些经文(律法、圣经、古兰经、摩门经、锡克教经文)如果不是神创作的那就是神启示的;奇迹会发生,祷告者可以得到回应,等等。如果世界上一些事情肯定会发生,那么这其间的因果关系就可以通过科学来调查。一些被认为是由自然原因引发的事件,如老生常谈的重要事件——海啸、地震、医学传染病例如癫痫和艾滋病等,在以前可能会被认为是非自然原因引起的,或者当前的科学还不能够确定其原因。然而,对后者而言不需要真相,也不需要合理的超自然因果假说。人们需要证据来相信后者并表明接受它需要给定条件。这两个要求对于一般的科学调查而言是开放的³³。

结论

科学除了对社会和技术生活做出过贡献,还对我们的哲学和文化传统做出了巨大的贡献——这是科学“血肉”的一部分。然而,科学教学往往只展示公理、规则和问题这些科学的“骨架”,它们是科学的“最终产品”。众所周知这也是为何先进的技术科学常与宗教和意识形态的原教旨主义相关的原因之一³⁴。科学的文化血肉应当成为严谨科学教育的一部分。

在好的通识教育中，科学专业的学生（也希望其他学生）从常规事件如概念分析、认识论和价值观等开始，学习科学的哲学维度。他们还会学习形而上学，特别是本体论和科学的维度，其中的某些我们上面已经讨论过。他们也应该学习科学世界观的组成和应用，以及科学的思维习惯，并最好能对此做出决策。他们应该考虑这样的问题：解决社会和意识形态问题需要科学世界观吗？为追求科学，教师可以阅读一些有胆识的科学家的作品，从伽利略到约瑟夫·普里斯特利和安德烈·萨哈罗夫（**Andrei Sakharov**）（**Sakharov 1968**），向学生介绍社会和文化事业的需求，这些事业激发了启蒙运动时期科学家、哲学家和社会变革者的热情。

特别是，学生可以仔细思考启蒙传统的主张，这些主张认为，基于纯粹的认识论立场，科学，或者更普遍地说，所有人类领域中对真理的追求都需要立法保护言论自由、出版自由、支持多样畅通的学术出版和结社自由。学生在论文、辩论、模拟试验或戏剧方面可以提出这样一些问题：科学的推广和传播需要自由、现世、民主、非集权的国家吗？这在巴基斯坦、沙特阿拉伯和许多国家中都是一个吸引人的话题。

所有这一切使得科学课程在知识上更具吸引力，它促进“动脑”进行科学学习，使得学校课程中不同科目（历史、数学、技术、宗教）的相互关联成为可能。将历史和哲学带入科学课堂使学生能够更好地理解科学和科学方法论，使他们能够更好地理解科学在现当代世界观形成中扮演的重要角色，并使他们获得支持科学和“科学思维习惯”传播的知识与热情。

毫无疑问，这样的教育会影响并促进学生世界观的形成。弗雷德里克·科普尔斯顿（**Frederick Copleston**）的警示值得注意：

“我认为，我们必须认识到世界观的建立依然是一个相当危险的过程。比如有一些未经检验或未受批判的预想在其建立过程中会有混入其中的风险。还存在过于草率地用理想的结论，以及个人偏见和心理因素决定一个人的判断等风险。”

（**Copleston 1991, p. 71**）

在自由主义传统之下，科学教师没有创造那么多的世界观，而是鼓励学生去识别、分析和评价世界观。对教育者来说，学生的探究和思考

是很重要的。一个好的科学教师会认同伯特兰·罗素在1916年的言论。那是他站在第一次世界大战的高度上所说的一番著名言论，他对双方民族主义者对学校教育的利用进行了批判：

“教育不会直接指向他们（学生）应当属于哪个政党，而是让他们理智地做出选择；它旨在让他们学会独立思考，而不是让他们思考他们的老师在想什么。”

（Egner & Denonn 1961, pp. 401-402）

■ 注释 ■

1. 这一章基于马修斯已经发表的研究（2009a）。
2. 关于这些相互作用的历史，可以参见：J.D. Bernal's four-volume study, *Science in History*（Bernal 1965）。也可参见Crombie（1994）、Dewitt（2004）和Randall（1962）。
3. 2013年理查德·阿滕伯勒的电视纪录片《加拉帕戈斯群岛》系列，被如是称赞“这个岛屿改变了我们对地球上的生命持有的观点”。
4. 要知道，智人与矮小黑猩猩之间有98.4%的基因是相同的，这一点可以改变一个人对动物世界与人之间的关系的看法。
5. 关于达尔文主义和世界观有无数的文献，特别参见：Dennett（1995）、Greene（1981）、McMullin（1985）和Ruse（1989）。
6. 本杰明·法灵顿（Benjamin Farrington）的《古代世界的科学与政治》（1939）是这些问题的经典答案。
7. 关于科学革命（包括是否使用这一术语）的文献和辩论，一篇详尽的指导是科恩的《科学革命》（Cohen 1994）。
8. 各种中世纪和文艺复兴时期的亚里士多德哲学源于适应新自然哲学发展和发现所做的努力。参见Blum（2012）和Schmitt（1983）。
9. 关于经院哲学的学说和历史可以参见De Wulf（1903/1956）的著作。另请参阅弗雷德里克·科普尔斯顿（Frederick Copleston）《哲学历史》卷2和卷3（Copleston 1950）。
10. 关于哥白尼的背景、身份和影响，参见Blumenberg（1987）、Gingerich（1975, 1993）和Grant（2004）。
11. 一个经典的讨论是德克斯特霍什（Dijksterhuis）的《世界图卷的机械化》（1961/1986）。关于耶稣—牛顿式方法的更广泛影响，参见Butts和Davis（1970）、Cohen（1980）、McMullin（1967）以及Shank（2008）。
12. 不幸的是，这些早期现代哲学家常常脱离他们所从事的当代科学领域进行研究，早期现代哲学呈现给学生的是讲授式教学，而不是与早期现代科学的对话和辩论。这一主题和论文，马修斯有更深入的挖掘，参见Matthews（1989）。
13. 可见Brooke（1991, Chapter V）、Israel（2001）和Porter（2000）。
14. 许多研究是关于这个话题的，至少可参见以下文章：Blanck et al.（2012）、Lawson和Worsnop（1992）、Yasri et al.（2013）、Martin-Hansen（2008）、Sinatra和Nadelson（2011）、Smith和Siegel（2004）以及Taber et al.（2011）。
15. 约翰·保罗二世教皇通谕，以及它如何回顾和修订托马斯主义的地位，参见Ernst（2006）。

16. 这种推理和思维模式的一个例子是阿奎那认为性交是“自然生育的使命”(Sentences 4.31.2.2)。出于健康原因(目的)沉迷于性交也是不自然的,是罪恶的行为,因为它违背了最初的使命。在那时,这种推理误导了数百万理智的人。现在,大多数人认为这显然是荒谬的。相关历史可以参见Noonan(1965, Chapter 8)。
17. 托马斯主义与科学的关系是一个复杂的问题。托马斯主义在许多领域做出了调整,至今仍然蓬勃发展(Ashley 1991, Lamont 2009)。哲学杂志《新经院哲学》从1927年到1989年一直发行,《托马斯学派》自1939年以来不断刊发,《现代哲学家》自1925年以来也不断刊发。当然,许多“经院”哲学期刊还以英语以外的其他语言发表文章。
18. 科学和伊斯兰教之间的紧张关系和相互适应,至少参见以下文章:Edis(2007)、Edis和BouJaoude(2014)以及Hoodbhoy(1991)。
19. 参见Nanda(2003)。
20. 参见Beyerchen(1977, 1992)和Cornwell(2003)。
21. 罗马天主教会的控制权要求所有历史、神学和哲学作家需要获得官方许可和出版许可才可以发表文章。
22. 科学教育中的教育哲学,参见Schulz(2009, 2014)。关于教育基础这样更大的问题,参见Tozer *et al.*(1990)。
23. 在众多的图书馆书目中,参见Barbour(1966)、Brooke(1991)、Haught(1995)、Jaki(1978)、Mascall(1956)以及Lindberg和Numbers(1986)的文章。
24. 顺便一提,值得注意的是,普里斯特利的生活表明即使不相信灵的存在,冷静、体贴和深入的“精神”生活也是可能的。
25. 对该文化有用的介绍参见Selin(1997),很多网站都在研究这个问题。
26. 贾格德(1997)称之为“间接学习”。这个立场引起Ogunniyi(1988)等人的争论,而通常人们的选择是“避免蹚入”这潭争论的浑水。
27. 关于自然主义可参见:Devitt(1998)、Fishman和Boudry(2013)、French *et al.*(1995)、Mahner(2012, 2014)、Nagel(1956)、Rosenberg(2011)以及Wagner和Warner(1993)。
28. 关于显现唯物主义可以参见:Broad(1925)、Bunge(1977, 1981, 2003, 2012)以及Sellars(1932)。
29. 科学主义的两个支持者是马里奥·邦格(Bunge 2010)和阿里克谢·罗森伯格(Rosenberg 2011)。汤姆·苏乐(Tom Sorell)阐明了反科学主义的论点(Sorell 1991)。
30. 不同的分类学或科学—宗教关系的分类方法可见Barbour(1990)、Haught(1995)和Polkinghorne(1986)。其他相关问题可以参见Reiss(2014)以及Yasri *et al.*(2013)。
31. 论点和文献可以参见McMullin(2005)。
32. 见马丁(Martin)(1991)的讨论和参考书目。
33. 反NOMA观点认为科学可以检验超自然主张,这个观点被许多人争论过,包括Boudry *et al.*(2012)、Fishman(2009)、Slezak(2012)和Stenger(2007)。
34. 当大量的观众在巴布亚新几内亚将女巫燃烧的照片通过手机上传到互联网时,我们发现先进技术和先进想法之间没有联系是很可悲的。

参考文献

- AAAS (American Association for the Advancement of Science): 1989, *Project 2061: Science for All Americans*, AAAS, Washington, DC (also published by Oxford University Press, 1990).
- AAAS (American Association for the Advancement of Science): 1993, *Benchmarks for Science Literacy*, Oxford University Press, New York.

- Adams III, H.H.: 1986, 'African and African-American Contributions to Science and Technology'. In *The Portland African-American Baseline Essays*, Portland Public Schools, Portland, OR.
- Aikenhead, G.S.: 1996, 'Science Education: Border Crossing Into the Subculture of Science', *Studies in Science Education* 27(1), 1-52.
- Aikenhead, G.S.: 1997, 'Toward a First Nations Cross-cultural Science and Technology Curriculum', *Science Education* 81(2), 217-238.
- Allen, R.E. (ed.): 1966, *Greek Philosophy. Thales to Aristotle*, The Free Press, New York.
- Amorth, G.: 2010, *The Memoirs of an Exorcist*, Ediciones Urano, Rome.
- Aquinas, T.: 1270/1920, *Summa Theologica*, trans. English Dominican Province, Burns, Oates & Washbourne, London (online edition, 2008).
- Ashley, B.M.: 1991, 'The River Forest School and the Philosophy of Nature Today'. In R.J. Long (ed.) *Philosophy and the God of Abraham. Essays in Memory of James A. Weisheipl, OP*, Pontifical Institute of Medieval Studies, Toronto, pp. 1-15.
- Barbour, I.G.: 1966, *Issues in Science and Religion*, SCM Press, London.
- Barbour, I.G.: 1990, *Religion in an Age of Science*, SCM Press, London.
- Ben-Ari, M.: 2005, *Just a Theory: Exploring the Nature of Science*, Prometheus Books, Amherst, NY.
- Bernal, J.D.: 1965, *Science in History*, 4 volumes, 3rd edn, C.A. Watts, London.
- Beyerchen, A.D.: 1977, *Scientists Under Hitler: Politics and the Physics Community in the Third Reich*, Yale University Press, New Haven, CT.
- Beyerchen, A.D.: 1992, 'What We Know About Nazism and Science', *Social Research* 59, 615-641.
- Blancke, S., de Smedt, J., de Cruz, H., Boudry, M. and Braeckman, J.: 2012, 'The Implications of the Cognitive Sciences for the Relation Between Religion and Science Education: The Case of Evolutionary Theory', *Science & Education* 21(8), 1167-1184.
- Blum, P.R.: 2012, *Studies on Early Modern Aristotelianism*, Brill, Leiden, The Netherlands.
- Blumenberg, H.: 1987, *The Genesis of the Copernican World*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Boudry, M., Blancke, S. and Braeckman, J.: 2012, 'Grist to the Mill of Anti-evolutionism: The Failed Strategy of Ruling the Supernatural Out of Science by Philosophical Fiat', *Science & Education* 21, 1151-1165.
- Broad, C.D.: 1925, *The Mind and Its Place in Nature*, Harcourt Brace, New York.
- Brooke, J.H.: 1991, *Science and Religion: Some Historical Perspectives*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Bunge, M.: 1977, *Treatise on Basic Philosophy. Vol.3, The Furniture of the World*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Bunge, M.: 1981, *Scientific Materialism*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands.
- Bunge, M.: 2003, *Emergence and Convergence*, University of Toronto Press, Toronto.
- Bunge, M.: 2010, *Matter and Mind: A Philosophical Inquiry*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Bunge, M.: 2012, *Evaluating Philosophies, Boston Studies in the Philosophy of Science*, Vol.295, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Butts, R.E. and Davis, J.W. (eds): 1970, *The Methodological Heritage of Newton*, University of Toronto Press, Toronto.
- Chan, W.-T.: 1969, *A Source Book in Chinese Philosophy*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Cohen, H.F.: 1994, *The Scientific Revolution: A Historiographical Inquiry*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Cohen, I.B.: 1980, *The Newtonian Revolution*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Copernicus, N.: 1543/1952, *On the Revolutions of the Heavenly Spheres* (trans. C.G. Wallis), Encyclopædia Britannica, Chicago, IL.
- Copleston, F.C.: 1950, *A History of Philosophy*, 8 volumes, Doubleday, New York.

- Copleston, F.C.: 1955, *Aquinas*, Penguin Books, Harmondsworth, UK.
- Copleston, F.C.: 1991, 'Ayer and World Views'. In A. Phillips Griffiths (ed.) *A.J. Ayer: Memorial Essays*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 63-75.
- Cornwell, J.: 2003, *Hitler's Scientists: Science, War and the Devil's Pact*, Penguin, London.
- Crombie, A.C.: 1994, *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition*, 3 volumes, Duckworth, London.
- De Wulf, M.: 1903/1956, *An Introduction to Scholastic Philosophy: Medieval and Modern* (trans. P. Coffey), Dover Publications, New York.
- Dennett, D.C.: 1995, *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*, Allen Lane, Penguin, London.
- Devitt, M.: 1998, 'Naturalism and the A Priori', *Philosophical Studies* 92, 45-65.
- Dewitt, R.: 2004, *Worldviews: An Introduction to the History and Philosophy of Science*, Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Dijksterhuis, E.J.: 1961/1986, *The Mechanization of the World Picture*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Dillenberger, J.: 1961, *Protestant Thought & Natural Science: A Historical Study*, Collins, London.
- Dilworth, C.: 1996/2006, *The Metaphysics of Science. An Account of Modern Science in Terms of Principles, Laws and Theories*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands (2nd edition, 2006).
- Edis, T. and BouJaoude, S.: 2014, 'Rejecting Materialism: Responses to Modern Science in the Muslim Middle East'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1663-1691.
- Edis, T.: 2007, *An Illusion of Harmony: Science and Religion in Islam*, Prometheus Books, Amherst, NY.
- Egner, R.E. and Denonn, L.E. (eds): 1961, *The Basic Writings of Bertrand Russell*, George Allen & Unwin, London.
- Einstein, A.: 1949, 'Remarks to the Essays Appearing in this Collective Volume'. In P.A. Schilpp (ed.) *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, Tudor Publishing Company, New York, pp. 663-688.
- Elliot, T.: 2013, 'Witch-Hunt', *Sydney Morning Herald*, Good Weekend, 20 April, pp. 16-21.
- Ernst, H.E.: 2006, 'New Horizons in Catholic Philosophical Theology: *Fides et Ratio* and the Changed Status of Thomism', *The Heythrop Journal* 47(1), 26-37.
- Farrington, B.: 1939, *Science and Politics in the Ancient World*, George Allen & Unwin, London.
- Fishman, Y.I.: 2009, 'Can Science Test Supernatural Worldviews?' *Science & Education* 18(6-7), 813-837.
- Fishman, Y.I. and Boudry, M.: 2013, 'Does Science Presuppose Naturalism (or, Indeed, Anything at All)?' *Science & Education* 22(5), 921-949.
- French, P.A., Uehling, T.E. and Wettstein, H.K. (eds): 1995, *Philosophical Naturalism*, University of Notre Dame Press, Notre Dame, IN.
- Galileo, G.: 1633/1953, *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*, (trans. S. Drake), University of California Press, Berkeley, CA (2nd revised edition, 1967).
- Gauch Jr, H.G.: 2009, 'Science, Worldviews and Education', *Science & Education* 18(6-7), 667-695.
- Gill, H.V.: 1944, *Fact and Fiction in Modern Science*, M.H. Gill, Dublin.
- Gingerich, O. (ed.): 1975, *The Nature of Scientific Discovery: A Symposium Commemorating the 500th Anniversary of the Birth of Nicolaus Copernicus*, Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- Gingerich, O.: 1993, *The Eye of Heaven: Ptolemy, Copernicus, Kepler*, American Institute of Physics, New York.
- Gould, S.J.: 1999, *Rock of Ages: Science and Religion in the Fullness of Life*, Ballantine Books, New York.
- Graham, L.R.: 1973, *Science and Philosophy in the Soviet Union*, Alfred A. Knopf, New York.
- Grant, E.: 2004, *Science and Religion, 400 bc to ad 1550. From Aristotle to Copernicus*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- Greene, J.C.: 1981, *Science, Ideology and World View: Essays in the History of Evolutionary Ideas*, University of California Press, Berkeley, CA.
- Guo, Y.: 2014, 'The Philosophy of Science and Technology in China: Political and Ideological Influences', *Science & Education* 23.

- Haught, J.F.: 1995, *Science and Religion: From Conflict to Conversation*, Paulist Press, New York.
- Hoodbhoy, P.: 1991, *Islam and Science: Religious Orthodoxy and the Battle for Rationality*, Zed Books, London.
- Horton, R.: 1971, 'African Traditional Thought and Western Science'. In M.F.D. Young (ed.) *Knowledge and Control*, Collier-Macmillan, London, pp. 208-266.
- Israel, J.: 2001, *Radical Enlightenment: Philosophy and the Making of Modernity 1650-1750*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Jaki, S.L.: 1978, *The Road of Science and the Ways to God*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Jegede, O.J.: 1989, 'Toward a Philosophical Basis for Science Education of the 1990s: An African View-Point'. In D.E. Herget (ed.) *The History and Philosophy of Science in Science Teaching*, Florida State University, Tallahassee, FL., pp. 185-198.
- Jegede, O.J.: 1997, 'School Science and the Development of Scientific Culture: A Review of Contemporary Science Education in Africa', *International Journal of Science Education* 19(1), 1-20.
- Lamont, J.: 2009 'The Fall and Rise of Aristotelian Metaphysics in the Philosophy of Science', *Science & Education* 18(6-7), 861-884.
- Larson, E.J.: 1997, *Summer for the Gods. The Scopes Trial and America's Continuing Debate Over Science and Religion*, Basic Books, New York.
- Lawson, A.E. and Worsnop, W.A.: 1992, 'Learning About Evolution and Rejecting a Belief in Special Creation: Effects of Reflective Reasoning Skill, Prior Knowledge, Prior Belief and Religious Commitment', *Journal of Research in Science Teaching* 29(2), 143-166.
- Lindberg, D.C. and Numbers, R.L. (eds): 1986, *God and Nature: Historical Essays on the Encounter between Christianity and Science*, University of California Press, Berkeley, CA.
- McKenzie, J.L.: 1966, *Dictionary of the Bible*, Geoffrey Chapman, London.
- McMullin, E. (ed.): 1967, *Galileo Man of Science*, Basic Books, New York.
- McMullin, E.: 1985, 'Introduction: Evolution and Creation'. In E. McMullin (ed.) *Evolution and Creation*, University of Notre Dame Press, Notre Dame, IN, pp. 1-58.
- McMullin, E.: 2005, 'Galileo's Theological Venture'. In E. McMullin (ed.) *The Church and Galileo*, University of Notre Dame Press, Notre Dame, IN, pp. 88-116.
- Mahner, M.: 2012, 'The Role of Metaphysical Naturalism in Science', *Science & Education* 21(10), 1437-1459.
- Mahner, M.: 2014, 'Science, Religion, and Naturalism: Metaphysical and Methodological Incompatibilities'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1793-1835.
- Martel, E.: 1991, 'How Valid Are the Portland Baseline Essays?' *Educational Leadership* Dec.-Jan., 20-23.
- Martin, R.N.D.: 1991, *Pierre Duhem: Philosophy and History in the Work of a Believing Physicist*, Open Court, LaSalle, IL.
- Martin-Hansen, L.M.: 2008, 'First-Year College Students' Conflict with Religion and Science', *Science & Education* 17(4), 317-357.
- Mascall, E.L.: 1956, *Christian Theology and Natural Science: Some Questions in Their Relations*, Longmans, Green, London.
- Matthews, M.R. (ed.): 1989, *The Scientific Background to Modern Philosophy*, Hackett Publishing, Indianapolis, IN.
- Matthews, M.R.: 2009a, 'Teaching the Philosophical and Worldview Components of Science', *Science & Education* 18(6-7), 697-728.
- Matthews, M.R. (ed.): 2009b, *Science, Worldviews and Education*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Montalenti, G.: 1974, 'From Aristotle to Democritus via Darwin: A Short Survey of a Long Historical and Logical Journey'. In F.J. Ayala and T. Dobzhansky (eds) *Studies in the Philosophy of Biology: Reduction and Related Problems*, University of California Press, Berkeley, CA, pp. 4-19.

- Mott, N. (ed.): 1991, *Can Scientists Believe?* James & James, London.
- Nagel, E.: 1956, 'Naturalism Reconsidered'. In his *Logic without Metaphysics*, Free Press, Glencoe, IL, Chapter 1.
- Nanda, M.: 2003, *Prophets Facing Backward. Postmodern Critiques of Science and Hindu Nationalism in India*, Rutgers University Press, New Brunswick, NJ.
- Narokobi, B. (ed.): 1977, 'Occasional Paper No.4, Sorcery', Papua New Guinea Law Commission, Port Moresby.
- NAS (National Academy of Science): 1998, *Teaching About Evolution and the Nature of Science*, National Academy Press, Washington, DC.
- Nasr, S.H.: 1996, *Religion and the Order of Nature*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Newton, I.: 1713/1934, *Principia Mathematica*, 2nd edn (trans. Florian Cajori), University of California Press, Berkeley, CA (1st edition, 1687).
- Noonan, J.T.: 1965, *Contraception: A History of Its Treatment by Catholic Theologians and Canonists*, Mentor-Omega Books, New York.
- Ogunniyi, M.B.: 1988, 'Adapting Western Science to Traditional African Culture', *International Journal of Science Education* 10(1), 1-9.
- Pennock, R.T.: 1999, *Tower of Babel: The Evidence Against the new Creationism*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Plantinga, A.: 2011, *Where the Conflict Really Lies. Science, Religion and Naturalism*, Oxford University Press, New York.
- Polkinghorne, J.: 1996, *The Faith of a Physicist: Reflections of a Bottom-up Thinker*. Fortress Press, Minneapolis, MN.
- Polkinghorne, J.C.: 1986, *One World: The Interaction of Science and Theology*, SPCK, London.
- Polkinghorne, J.C.: 1991, *Reason and Reality: The Relationship between Science and Theology*, SPCK, London.
- Popper, K.R.: 1963, *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*, Routledge & Kegan Paul, London.
- Porter, R.: 2000, *The Enlightenment: Britain and the Creation of the Modern World*, Penguin Books, London.
- Randall Jr, J.H.: 1962, *The Career of Philosophy*, Columbia University Press, New York.
- Redondi, P.: 1988, *Galileo Heretic*, Allen Lane, London.
- Reiss, M.: 2014, 'What Significance Does Christianity Have for Science Education?'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1637-1662.
- Rohrlich, F.: 1987, *From Paradox to Reality: Our Basic Concepts of the Physical World*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Rosenberg, A.: 2011, *The Atheist's Guide to Reality: Enjoying Life Without Illusions*, W.W. Norton, New York.
- Ruse, M.: 1989, *The Darwinian Paradigm. Essays on Its History, Philosophy, and Religious Implications*, Routledge, London.
- Russell, B.: 1958, 'Letter to Mr Major', in *Dear Bertrand Russell: A Selection of his Correspondence with the General Public, 1950-1968*, Allen & Unwin, London, 1969.
- Rutt, J.T. (ed.): 1817-1832/1972, *The Theological and Miscellaneous Works of Joseph Priestley*, 25 volumes, J. Johnson, London (Kraus Reprint, New York, 1972).
- Sagan, C.: 1997, *The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark*, Headline Book, London.
- Sakharov, A.D.: 1968, *Progress, Coexistence and Intellectual Freedom*, W.W. Norton, New York.
- Schmitt, C.B.: 1983, *Aristotle and the Renaissance*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Schulz, R.M.: 2009, 'Reforming Science Education: Part I. The Search for a Philosophy of Science Education', *Science & Education* 18 (3-4), 225-249.
- Schulz, R.M.: 2014, 'Philosophy of Education and Science Education: A Vital but Underdeveloped Relationship'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1259-1315.
- Selin, H. (ed.): 1997, *Encyclopedia of the History of Science, Technology, and Medicine in Non-Western Cultures*,

- Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Sellars, R.W.: 1932, *The Philosophy of Physical Realism*, Macmillan, New York.
- Shank, J.B.: 2008, *The Newton Wars and the Beginning of the French Enlightenment*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Sinatra, G.M. and Nadelson, L.: 2011, 'Science and Religion: Ontologically Different Epistemologies'. In R.S. Taylor and M. Ferrari (eds) *Epistemology and Science Education: Understanding the Evolution vs. Intelligent Design Controversy*, Routledge, New York, pp. 173-193.
- Slezak, P.: 2012, 'Review of Michael Ruse Science and Spirituality: Making Room for Faith in the Age of Science', *Science & Education* 21, 403-413.
- Smith, M.U. and Siegel, H.: 2004, 'Knowing, Believing and Understanding: What Goals for Science Education?' *Science & Education* 13, 553-582.
- Sorell, T.: 1991, *Scientism: Philosophy and the Infatuation with Science*, Routledge, London.
- Steinberg, S.R. and Kincheloe, J.: 2012, 'Employing the Bricolage as Critical Research in Science Education'. In B. Fraser, K. Tobin and C. McRobbie (eds) *International Handbook of Science Education*, 2nd edn, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1485-1500.
- Stenger, V.J.: 2007, *God: The Failed Hypothesis: How Science Shows That God Does not Exist*, Prometheus Books, Amherst, NY.
- Suchting, W.A.: 1994, 'Notes on the Cultural Significance of the Sciences', *Science & Education* 3(1), 1-56.
- Taber, K.S., Billingsley, B., Riga, F. and Newdick, H.: 2011, 'Secondary Students' Responses to Perceptions of the Relationship Between Science and Religion: Stances Identified From an Interview Study', *Science Education* 95(6), 1000-1025.
- Tozer, S., Anderson, T.H. and Armbruster, B.B. (eds): 1990, *Foundational Studies in Teacher Education: A Reexamination*, Teachers College Press, New York.
- Van Eijck, M. and Roth W.-M.: 2007, 'Keeping the Local Local: Recalibrating the Status of Science and Traditional Ecological Knowledge (TEK) in Education', *Science Education* 91, 926-947.
- Vitzthum, R.C.: 1995, *Materialism: An Affirmative History and Definition*, Prometheus, Amherst, NY.
- von Hayek, F.: 1952, *The Counter-Revolution of Science*, Free Press, Glencoe, IL.
- Wagner, S. and Warner, R. (eds): 1993, *Naturalism: A Critical Appraisal*, University of Notre Dame Press, Notre Dame, IN.
- Weisheipl, J.A.: 1968, 'The Revival of Thomism as a Christian Philosophy'. In R.M. McInerney (ed.) *New Themes in Christian Philosophy*, University of Notre Dame Press, South Bend, IN, pp. 164-185.
- Westfall, R.S.: 1971, *The Construction of Modern Science: Mechanisms and Mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Westfall, R.S.: 1973, *Science and Religion in Seventeenth-Century England*, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.
- Yasri, P., Arthurs, S., Smith, M.U. and Mancy, R.: 2013, 'Relating Science and Religion: An Ontology of Taxonomies and Development of a Research Tool for Identifying Individual Views', *Science & Education* 22(10), 2679-2707.

教育中由来已久的传统是提倡将HPS融入科学课堂、课程及教师教育，以产生文化、教育、个人及科学效益，用当下的术语说是将科学的本质（Nature of Science, NOS）带入科学课堂、课程及教师教育。我们可以将其称为规范的NOS传统。该传统主张为了一些个人目标、文化目标及学科目标，学习科学的学生应该对科学本身有所了解，尤其要了解科学在哲学或方法论方面的独特之处。18世纪的约瑟夫·普里斯特利（Joseph Priestley）可被看做是这一传统的奠基人，这一点在第七章已经提到过。他撰写了第一本有关电学史和光学史的书，由此自然哲学家可以借鉴前人成功和失败的经验。这一传统在19世纪的核心代表人物有威廉·休厄尔（William Whewell）（Whewell 1855）、托马斯·赫胥黎（Thomas Huxley）（Huxley 1868/1964）和恩斯特·马赫（Ernst Mach）（Mach 1886/1986）。20世纪早期的核心代表人物有美国的约翰·杜威（John Dewey）（Dewey 1910），英国的弗雷德里克·韦斯塔韦（Frederick Westaway）（Westaway 1929）和埃里克·霍姆亚德（Eric Holmyard）（Holmyard 1924）。在北美国国家，这种传统得以延续，20世纪40年代的代表人物有约瑟夫·施瓦布（Joseph Schwab）（Schwab 1949）；60年代的代表人物有利奥·克洛普弗（Leo Klopfer）（Klopfer 1969）和詹姆斯·罗宾逊（James Robinson）（Robinson 1968）；70年代的代表人物有吉姆·卢瑟福（Jim Rutherford）（Rutherford 1972, 2001）、杰拉尔德·霍尔顿（Gerald Holton）（Holton 1975, 1978）、罗伯特·科恩（Robert Cohen）（Cohen 1975）和迈克尔·马丁（Michael Martin）（Martin 1972, 1974）。

在过去30年间，许多科学教育家发展了这一规范性传统，其中最著名的当属德里克·霍德森（Derek Hodson）（1986, 1988, 2008, 2009, 2014）、理查德·杜舍尔（Richard Duschl）（1985, 1990, 2004）和曼苏尔·尼亚兹（Mansoor Niaz）（2009, 2010）等人²。本

书的序言部分已经提到,历史、哲学与科学教学国际组织(IHPST)自1989年开始每两年召开一次会议,并发行相关刊物《科学与教育》,对这一传统做出了突出贡献。自1992年创刊以来,《科学与教育》发表了800多篇有关历史、哲学和科学教学的研究论文,其中上百篇论文都提交到了IHPST国际和地区会议上。

除了倡导或规范性工作以外,最近关于NOS的实证研究稳步增长。但这些研究极少关注学生为什么应该学习NOS,而偏重于学生如何学习以及他们是否已经学习了NOS。这项基于实证的传统研究了以下问题:NOS能否被有效应用到小学教育中?学习NOS最好的方法是什么?外显NOS教学和内隐NOS教学会带来什么不同的结果?科学家、教师以及代表性的历史学家和哲学家持有怎样的NOS观点?学习NOS和学习科学内容有何关联(如果二者存在关联的话)?学习NOS能带来哪些长远的收益与改变?如何开发有效、可靠、高效的NOS测试³,等等。诺曼·莱德曼(Norman Lederman)(2004, 2007, Lederman *et al.* 2014)、福阿德·阿布德·哈利克(Fouad Abd-el-Khalick)(2005)、威廉·麦科马斯(William McComas)(1998a, 2014)、基思·泰伯(Keith Taber)(2009, 2014)以及他们的研究团队所做的工作对此产生了重要影响。

NOS能够覆盖多大范围的教育目的?这个问题从一开始便模棱两可,时有争论。最初,NOS被认为与科学哲学是一致的。人们重点关注认识论、方法论、本体论及科学伦理,关注证据如何与理论评价相联系、理论选择的决定性因素及成功实验所具备的特点,等等。这一观点认为,正是这一系列问题构成了科学的独特性、决定性特征。随后,NOS的覆盖范围有所扩大,将科学史及科学哲学融入其中,因为后者需要前者,即学习科学需要了解它的一些历史以及科学发现和理论得到认可的真实过程——“没有科学史的科学哲学是空洞的;没有科学哲学的科学史是盲目的”(Lakatos 1978, p. 102)。由于大规模(工业)和小规模(实验室)的科学社会学复兴,NOS的覆盖范围进一步扩大,将社会学乃至科学心理学也融入其中。至此,NOS的含义基本上成了“科学研究”,而哲学和认识论也不再处于中心地位⁴。无论是规范的NOS传统还是实证的NOS传统,都将根据所采用的NOS定义的宽泛程度进行调整。

因为科学是人类的,所以它也是融入历史的、追求真理的事业。它

有许多特点：认知性、社会性、商业性、文化性、政治性、结构性、伦理性、金融性、心理性，等等。所有这些特点都是值得科学专业的学生和学科专家去研究的。而当我们研究各种不同学科的科学，以及不同科学学科的历史、成果和实践的不同方面时，这些特点的不同之处就变得更加清晰。有些特点与其他获取知识活动的特点在很大程度上是相同的，有些仅有小部分相同，而有些则完全不同。考虑到科学的这些特点，理解NOS是大有裨益的，这并非一项实践活动获得科学性的充分必要条件，用维特根斯坦的术语来说，是用来识别“家族相似”特点的，这些特点可以确保不同的事业都称得上是科学的。为了对其特征加以限制，追求真理必须始终作为一个典型的科学目标，科学研究是否成功以及“真理”是什么都是次要的问题⁵。

本章将介绍术语的变化，以及研究焦点从NOS的本质论和认识论向更为轻松、情境化和异构化的“科学的特征”(features of science, FOS)的转移。这一术语和焦点的变化避免了以下这些与当前大多数NOS研究相关的哲学和教育学误区：

1. 盲目地将认识论的、社会学的、心理学的、伦理的、商业的和哲学的特征归到单一的NOS列表中；
2. 关于NOS列表应该包含多少条目的争论，莱德曼团队认为有7个，而麦克马斯团队认为有10个，还有些团队有其他见解；
3. 关于方法论或科学的“本质”存在争论以及争论不断的一方的特权；
4. 关于划界争议的特定解决方案的假设；
5. 假设可以通过学生识别NOS内容的能力，判断和评价关于NOS的学习。

威廉·休厄尔：当代NOS争议的先驱

威廉·休厄尔(William Whewell)(1794—1866)是英国伟大的科学家、哲学家、历史学家、神学家及伦理学者，1854年在利兹为英国皇家学会做了题为“科学史对知识教育的影响”的演讲(Whewell 1855)。他在演讲中为他独特的论断铺垫了以下观点：

“古代社会孕育了最优秀的科学研究成果，这些成果为现代教育

提供了最好的素材，沿着它们的步伐，现代科学如雨后春笋般飞速发展，在各个方面都远远超越了古代科学。科学应对现代教育施加影响，并为现代知识文化做出应有的贡献。”

(Whewell 1855, p. 242)

在演讲中，他激昂地论证将NOS（现在的叫法）的内容融入所有的通识教育：

“在科学史上，我们看到无数本质：肉体本质及精神本质；知识世界的本质及感性世界的本质……科学史可以也必须大力促进对归纳发现应有的理解和评价；在过去的三百年中，归纳发现这一过程有着强大的活力，在欧洲国家迅速发展，可以说已经成为这些国家青年国民知识中鲜明而突出的部分。”

(Whewell 1855, p. 248-249)

休厄尔相信，从更宽泛的意义上讲，即从知识的形成过程或认识论的角度来讲，科学史是理解“知识文化”不可或缺的一部分。休厄尔认为，研究科学哲学必须了解科学史。一百多年后，这一观点在卡尔·波普尔（Karl Popper）、伊姆雷·拉卡托斯（Imre Lakatos）和托马斯·库恩（Thomas Kuhn）的推动下得到大家的认可。虽然许多有关科学教育中NOS的讨论与休厄尔的观点相背离，但他的观点依然值得关注。教师在教授NOS的过程中常常不谈历史，而历史学习也不会提及NOS。不幸的是，许多教师希望仅仅通过让学生“反思”、“头脑风暴”或“讨论”他们的教学活动或探究活动来传达NOS的内容。这样做的成效是有限的。任何课程的学习都依赖于从课堂科学外推至科学“大局”——即包含历史和社会的科学。做这种外推时需要小心谨慎，稍有不慎便会滋生傲慢、自我膨胀：“我将通过反思课堂上我所做的来告诉你科学及其目的、方法和价值观。”

休厄尔继续提问，提出了当代NOS研究最受关注的两个问题：“这样的文化是如何被影响的？如何判断这种文化是否受到了影响？”（Whewell 1855, p. 249）

用时下的话来讲，休厄尔想问的是：教授NOS的最佳方式是什么？以及，如何对NOS学习进行最恰当的评价？教育工作者和研究人员仍然在

不断提出这些问题并进行解答。

当前对NOS的研究

如上文所述，当代NOS的研究要么是规范的，要么是实证的，当然二者有一些重叠，因为人们通常不会研究他们认为不重要的课题。当下规范的NOS研究面临的基本挑战是它需要充分了解科学的历史性研究和哲学性研究。这一挑战或多或少得到了解决，解决程度取决于研究人员自身对该领域的修养及掌握情况。科学教育研究者通常持有一种广泛的、轻松的、不过度考究的科学本质观。当下的趋势是“HPS流”，或者不客气地说是接纳HPS的一切定位，包括20世纪60年代的逻辑实证主义（Matthews 1997）、70年代和80年代的库恩主义（Matthews 2004）以及80年代和90年代的建构主义（Matthews 2000b）⁶。更近一些，许多教育家接受各种后现代主义和社会与文化版本的HPS，如下所述：

“当下科学研究中的学术研究为更具思想性的科学教育论述开辟了道路，这些论述涉及科学知识的批判性、历史性、政治性和社会文化观点以及实践……传统西方科学对客观性和普遍真理性主张的问题本质给予了更多的关注，并创造了一个教育空间，在这个空间内，理所当然的含义遭受越来越多的挑战、充实和驳斥……因此，科学长期以来对认识论优势的接纳，如今与文化规范、社会利益和经济需求相联系。”

（Bazzul & Sykes 2011, p. 268）

在科学教育界中，由于对科学史和科学哲学的合理培训较少，许多发表的有关NOS的论断——诸如前面的引用都是错误、不合理或虚构的⁷。所以如果将NOS纳入教师培训，必然会对教师教育造成影响，而当教师在学校中试图推广NOS知识时，必然又会课堂教学造成影响。思考近期一篇论文中发表的十分自信的论断：

“对科学具有更加严谨的认识论信仰的人拒绝客观真理，认可多重事实，并把科学知识看作人类的建构。这些复杂认识论的视角被美国科学教育改革文件当做学习目标和教学途径。”

（Kang 2008, p. 480）

在NOS的三点声明中有一点,即“科学知识是人类的建构”是相当正确的,但又接近于重复(它能是一棵树的建构吗?能是一只北极熊的建构吗?)。而另外两点则是错误的,或者至少可以说是饱受争议的,然而它们仍被贴上“有判断力”的标签。这种错误或者说饱受争议的“有判断力”的声明得到广泛传播:

“建构主义的学习模式可能与具有复杂认识论的教师有关,而传统和可传送的概念定位则可能体现在具有幼稚的认识论的教师身上,这些教师与无所不知的权威和某些知识相关联。”

(Chan & Elliot 2004, p. 819)

这种误导在实证研究中泛滥,一些NOS测试的得分情况说明现实主义位于“不成熟”的地位,对NOS的理解不足,教师需要“不断尝试”,让他们相信NOS更“有判断力”的地位(Matthews 1998)。显然,NOS的地位对研究人员而言取决于测试工具的有效性以及NOS学习评估的有效性⁸。

当前具有影响力的NOS研究团队是诺曼·莱德曼(Norman Lederman)团队⁹。这个团队对NOS的定义是典型的、普遍的:“通常,NOS指的是科学认识论和科学社会学,科学是认知的途径,或者说是科学知识及其发展中固有的价值观和信仰”(Lederman *et al.* 2002, p. 498)。值得注意的是,该定义将科学的认识论和社会学方面都融入了NOS的范畴,这是一个非常大的范畴。科学社会学包含政治、商业、专业领域、就业以及其他重要的科学功能研究领域。这种延伸是从NOS到FOS转变的一个重要原因。将NOS限制在科学认识论或方法论特征上会呈现出一些识别科学核心的、重要的“本质”问题,一旦加入社会学,科学心理学也被包含在NOS范围内,那么所有界定“本质”的尝试都将宣告失败。

莱德曼团队坚信“目前科学哲学家、科学史学家、科学家和科学教育工作者在对NOS的具体定义上是无法达成一致的”(Lederman 2004, p. 303)。尽管莱德曼团队认识到对于NOS没有跨界的共识,但他们坚信K-12课堂(从幼儿园到12年级的儿童教育)中关于NOS教学目标的核心是完全能够达成共识的。该团队阐述并拥护NOS的七项要素,他们相

信这些要素符合以下标准：

1. 在校学生的可获得性；
2. 历史学家和哲学家普遍认同；
3. 有助于公民的认知。

上文提到的七项要素如下¹⁰：

1. 科学的实证本质。关于这点他们认为，虽然科学是实证的，但科学家并不能直接接触到大多数自然现象。他们声称：

“学生应该能够区分观察和推断……理解观察和推断的重要区别是理解科学界中大量推断实体、理论实体以及术语的前提。”

(Lederman *et al.* 2002, p. 500)

2. 科学理论不同于科学定律。关于这点他们认为：

“定律是对观察到的现象之间的关系的描述……相比之下，理论是对这些观察到的现象或现象中的规律的推理性解释……理论和定律是两种不同类型的知识，两者不会相互转化。”

(Lederman *et al.* 2002, p. 500)

3. 科学知识的创造性或想象性本质。关于这点他们认为：

“科学是实证的……然而，科学知识的产生也包含人类的想象力和创造力。科学……不是没有生命、完全理性和有序的活动……科学实体，例如原子和物种，是功能性的理论模型，而不是现实的复制品。”

(Lederman *et al.* 2002, p. 500)

4. 科学知识的本质渗透着理论。关于这点他们认为：

“科学家的理论和学科规范、信念、先验知识、训练、经验和期望切实影响着他们的工作。所有这些背景因素形成了思维定式，从而影响了科学家研究的问题以及他们探究问题的方式。”

(Lederman *et al.* 2002, p. 501)

5. 科学知识植根于社会与文化，关于这点他们认为：

“科学作为一种人类事业，是在更为广阔的文化背景下进行的实

践，而实践者是这种文化的产物。科学遵循和影响它根植于其中的文化的多种要素和知识领域，同时也被其影响。”

(Lederman *et al.* 2002, p. 501)

6. 科学方法的谬论，关于这点他们认为：

“没有任何一种科学方法可以保证绝对没有错误知识的发展……以及单一顺序的活动……这能够正确引导科学家找到切实有效的解决方案。”

(Lederman *et al.* 2002, p. 502)

7. 科学知识的暂时性本质，关于这点他们坚持认为：

“科学知识尽管是可靠的、长久的，但不是绝对的、确定的。这种知识包括事实、理论、规律，都是服从于变化的。”

(Lederman *et al.* 2002, p. 502)

这个列表作为NOS清单被广泛运用到科学教育中，并为该团队一系列广受欢迎的科学本质观（Views of Nature of Science, VNOS）测试提供信息。数以百计发表的研究论文用它来衡量NOS的教学成果（Lederman *et al.* 2014）和对NOS的理解程度¹¹。这个清单积极的一面是它将NOS引入课堂，为研究者提供了评估NOS学习的工具，同时也为教师和学生提供了一些关于NOS的知识以便他们进行思考和更好地了解NOS。清单的弊端在于它违背了NOS清单创建者的初衷，它成为一个咒语、一本教义问答手册，或者是另一种需要被学习的东西。教师和学生本应通过阅读、分析来形成他们自己对NOS的认识，而这个清单却将上述这些步骤简化了。此外，它直接与思考和批判性思维的目标相悖，而这些目标正是多数人认为学习NOS（或HPS）课程的原因。

HPS的贡献

这七项科学特征，或者说NOS要素可以从哲学和历史角度得到完善和发展，以便更好地帮助师生收获NOS成果。这七个重要的、哲学的、微妙的要素及其背后长久的传统争论寥寥几页就能概括，他们需要进一步的详细阐述，但关键点不在这里。关键是清单的含糊不清大大削弱了

科学本质课程的目标、评价标准、科学教师教育课程的目标这些主题的实用性。

实证基础

举个例子，考虑清单中的第一项——科学的实证基础。在本书第六章中阐述“观察”的意义时，我们已经对此话题进行过部分讨论了。然而，仍有必要在此进一步阐述，已有的区别引出了以下问题：第一，科学中理论实体的本体论地位；第二，科学中抽象化和理想化的作用。

首先讨论科学的实证本质，相比现象实体而言，客观实体的存在更能得到大家的认同（Lederman 2004, p. 303）。这一点的确如此，但哲学家争论不休的严肃话题并非现实世界，而是科学理论中解释实体的现实性。这场辩论从亚里士多德（Aristotle）时代就已经展开了，一方为实在论者，另一方为经验主义者、建构主义者及工具主义者。

本书第九章从历史和哲学层面对这场辩论进行了概述。从阿那克西曼德（Anaximander）提出用水晶球模型模拟天体假设开始的2,700年里，没有人怀疑过世界的存在——贝拉尔米内（Bellarmine）、贝克莱（Berkeley）、马赫（Mach）和玻尔（Bohr）并不怀疑物体的存在，而只是怀疑不可见的实体和机理，这些实体和机理在他们所处时代的科学用以解释物体可见的、宏观的和能感知的行为。当莱德曼清单中的第一项简单地说“科学有实证基础”时，整个历史都与科学教育的讨论相去甚远。事实确实如此，但问题显然更复杂，而且与许多事情一样，错误就藏在细节当中。也许可以这么说，虽然学生无法理解这些细节，但这是一个实证问题；当然，教师可以而且应该理解这些细节，而真正有效的NOS清单会引导他们理解这些细节。

莱德曼团队是关于世界的实在论者，但关于科学理论实体他们是否也是实在论者，这一点却并不清楚——这与实在论者和工具主义者（建构主义者）的争议是有联系的。教师需要引导的不是关于现实世界的真实性，而是科学理论假设的现实或实体的其他方面。莱德曼的问题是：“如果学生没有认识到‘基因’是用来解释实验结果的建构产物，那么能说他真的理解了基因的概念吗？”（Lederman 2004, p. 314）。他反复追问：“那些认为基因是一种物理存在，类似于项链上的珍珠的学生真的深入理解了基因的概念吗？”（出处同上）还有：

“一些学生不知道原子（如课本图片那样）是用来解释物质行为的科学模型，不知道原子无法被直接观察到，那他们真的深入理解了原子的概念吗？”

（出处同上）

在哲学意识的引导下，可以看出关于基因和原子是否存在的问题背后有着严重的、误导性的歧义。乍看之下，这些问题似乎在为核心的解释实体提供一个工具主义和非实在论的观点，它们“原则上”似乎是不存在的，仅仅是人类的“建构”。如果学生认为基因不像项链上的珍珠，而是项链上的连接，这可以看做是关于NOS高水平的理解吗？或者，如果一个学生认为原子不像课本图片上所见的那样，而是某种微小的粒子，这可以看做是高水平的关于NOS的理解吗？NOS的关键问题是基因和原子是否真实存在或者原则上存在，而不是任何特定图片中的基因或原子是否正确。一旦我们承认它们原则上存在，就可以不必拘泥于任何特定的图片，这只是填补优质科学教育的空白。然而，莱德曼对它们到底是原则上存在，还是只是一些被否定的特殊存在（如珍珠样的基因或红绿色的原子）却保持沉默。

该团队的另一名成员哈力克对这个问题也同样含糊其辞，他认为“科学世界被大量的理论实体占据，如原子、光子、磁场和引力等”。所有的实在论者都认识到，列出的这些实体都是科学的理论和核心。但他又继续说这些是“功能性的理论模型，而不是复制‘现实’的”（Abd-El-Khalick 2004, p. 409-410）。这里再一次出现了重要的歧义，人们不禁要奇怪为何“现实”要加着重引号，因为这句话出现了一些质疑现实本身的元素，但可以暂且将它放到一边，因为哈力克是一个关于现实的实在论者。然而更重要的是，功能理论模型要么有参照物（指现在存在的东西），要么通常仅用一种没有本体论输入的数学方法联系可观察的事物。由于列出的理论实体并不是“忠于现实的复制”，或由于它们的根本属性，对它们是否是原则上不存在的“功能理论模型”这一关键问题，哈力克给出的说法是模棱两可的。

这是对假设性建构（原则上存在，但可能事实上不存在或者被认为没有这种归于它们的属性）与中介变量（原则上不存在，仅仅用于联系可观测事物）之间经过长期讨论后的区别的重述¹²。在19世纪，热质和

海王星都是假设性建构，其中一个被证明确实存在，而另一个不存在。在社会学中，“平均家庭成员数量”的概念作为一个中介变量发挥作用：没有任何迹象表明一个家庭会有3.7个成员，后者显然不是严格（或不严格）复制现实的。关键问题在于原子、光子、磁场、引力的概念是否像平均家庭成员数量一样？贝拉尔米内、贝克莱、马赫和玻尔会说“是的”，哈力克是否同意他们的观点我们并不清楚。如果“功能理论模型”的阐释能够得到重视的话，就不会产生这样的歧义了。更重要的是，教师和学生就可以进入科学史漫长而丰富的哲学对话当中。

初看之下，关于科学中的理论实体，莱德曼团队是经验主义者和建构主义者。若是这样的话，这将是一个错误，而且也不是科学教师应该传达的关于NOS的信息。在这场争论中，这个错误与其说是建构主义的哲学主张，还不如说给人们留下了可以接受且已经被接受的、没有争论或无可替代的印象——即实在论的地位。另外，专注于学习NOS的清单而不是公开讨论和探究FOS，也将导致这个错误。

关于莱德曼团队“实证基础”特性的第二个问题是它掩盖（如果尚未完全扭曲）了科学的非实证性成分。抽象化和理想化的过程是现代科学的开端。这是一种可以看到整片森林而非仅仅看到一棵棵树的能力。想想伽利略单摆“成千上万次的摆动”，正如本书第六章详细说明了，显然伽利略并没有看到这样的现象，这个主张是关于如果消除阻碍单摆运动的阻力，那么伽利略将会看到什么。同样，牛顿也没有看到惯性物体持续沿直线无限运动。如果所有阻力都去掉，那么他将看到上述现象。费尔米（Fermi）和贝尔纳迪尼（Bernardini）在伽利略的传记中这样强调这一创新：

“在系统阐述‘惯性定律’时，要抽象出运动物体没有受力，特别是不受任何形式的摩擦力，这种抽象并非易事，因为几千年来，摩擦力一直掩盖了简单有效的运动定律。换句话说，摩擦力在所有人的经验中是一个基本要素，我们的直觉由摩擦力控制，人可以走动是因为摩擦力，由于摩擦力人们可以用手抓住物体，可以织衣物、造汽车、建房子等。超越复杂的摩擦力来窥探运动的本质，这确实需要强大的洞察力。”

（Fermi & Bernardini 1961, p. 116）

对莱德曼清单上第一项的持久讨论得出的要点表明，关于实证基础及推理作用的主张，需要在更为复杂的层面上进行阐述，这样既有益，又能避免对科学事业产生重大误解。此外，阐述时尽可能少用HPS，这样就可以使“科学是基于实证的”这一或多或少非争议性且平常的主张转变成有吸引力的研究，该研究将教师、学生与哲学史的核心哲学争论（即科学理论的实在论或工具主义解释）联系起来，这将是一场双方都拥有伟大思想的争辩。而这并非是简单的、可以被一份陈述性清单简化的“一目了然”的东西。

这一论点同样也适用于莱德曼清单中的其他观点。人们普遍认为，这些必要的论述取决于教师是否拥有某些能力，或者至少教师是否熟悉科学史和科学哲学，然而众所周知，教师教育培训中并没有包括这方面的培训。

主观性

第四个观点是“科学知识是主观的或渗透理论的”。这一说法又是模棱两可的：既可以说“是”又可以说“不是”。首先，承认渗透理论这一说法并不等同于它在通常的心理学意义上是主观的。渗透理论的描述与理论本体描述都很好且一样可靠，就其本身而言，它与主观性没有瓜葛。然而，莱德曼团队使用的“主观性”一词容易产生歧义。例如，莱德曼谈到“我不提倡科学家是主观的”（Lederman 2004, p. 306）。这里的“主观”必定是心理学通常意义上的术语，科学家确实应该避免这种主观性。然而之前我们一直在说的所谓的“哲学主观性”，已经表明主观性等同于理论渗透性，并且“主观性是不可避免的”（出处同上）。显然，正如莱德曼所指出的，所有的科学都是渗透理论的，但是如果这样，那么无论提倡与否，科学家都是主观的（就如哲学主观性一样），但这完全不同于心理学上的主观性。

现代科学的悠久历史为在测量和解释中避免或减少心理主观性做出了贡献，最早开始于为了获取重量、长度、时间等主体间的一致而使用测量仪器。如第六章中提及的，伽利略为了能够在医疗诊断中客观测量脉搏而发明了“脉搏摆”。同病人脉搏摆动一致的摆长替代了完全主观的“快速”脉搏、“中速”脉搏或“慢速”脉搏。所有人都可以看到这个长度，并且可以测量出来，脉搏频率不再是一个完全内部、主观的事情了。这

个过程和关系在所有自然科学测量工具（电流表、电压表、弹簧秤等）以及社会科学测量工具（智力测试、性格测试、健康测试等）的发展中重复出现。因而第四个观点完全是一种模棱两可的说法，不幸的是，这种观点竟被列入检测NOS理解程度的清单之中，并得到了广泛应用。

文化

该团队的第五个说法是“科学是植根于文化的，它与文化的多种要素和知识领域相互影响”（Lederman 2004, p. 306）。重要的是这个观点已经得到了认可，但错误藏于细节之中，细节却未被提及。正如本书第十章所述，以纳粹主义文化（Beyerchen 1977）、斯大林主义文化（Birstein 2001, Graham 1973）、伊斯兰教文化（Hoodbhoy 1991）和印度教文化（Nanda 2003）为例，它们的力量强大到足以对科学研究产生重大影响。当然，影响有好有坏，基督教文化、信仰和权威对科学的影响是有据可查的（Lindberg & Numbers 1986, Reiss 2014）。本土科学在传统社会中得以实践，本土科学受到世界观和传统社会结构的影响，这种影响构成了本土科学存在的意义。

所有欧洲科学革命的评论者都认识到，伽利略、惠更斯（Huygens）、牛顿、波义耳（Boyle）等人开启的新科学之风依赖于17世纪欧洲的社会和文化环境——虽然并非由此引起。整个研究项目一直致力于梳理这些文化的贡献¹³。与此相反的是，学者们试图去确认那时的中国并未出现这种文化环境，以此来解释为什么中国没有类似的科学革命（Needham & Ling 1954—1965）。在一个颇具争议的著名研究中，保罗·福尔曼（Paul Forman）试图证明魏玛时期的德国文化和不确定量子理论的创建之间存在着因果关系（Forman 1971）。

这样的社会和历史事实是毫无争议的，科学依赖于技术、数学、通信、财富、教育、哲学，从更广泛的意义上讲，科学还依赖于文化——它有助于师生了解上述内容并了解相关案例。然而，为使这一事实真正有用，而不仅仅是作为一种人类学观察，教师（及其学生）需要参与或探究这些问题，如：区分文化中的糟粕和精华；区分科学的好坏；识别科学发展的外因和内因；尝试判断西方科学和本土科学的相似之处；清楚这种信息是如何对主张的真实性或受其影响的科学发展施加压力的；等等。然而，莱德曼团队对这些根本规范性问题保持沉默。

有人告诉我们, 尽管西方科学在北美学校中占据主导地位, 但在世界其他地方仍“存在着其他类似的科学(如本土科学)”(Lederman 2004, p. 307)。关于“类似”产生的歧义意味着无论在对抗西方科学的文化中或在多元文化环境中, 清单上的内容无法为教师提供任何指导。将人类学主张转移到教育结论上是很容易的一步, 以至于只要其他类似的科学存在, 就应当被传授¹⁴。

莱德曼团队确实正确指出: 相比其他, NOS教学就是识别“科学知识及其发展的固有价值观念和信仰”(Lederman 2004, p. 303)。但对这些价值观的具体阐述即便存在, 也少之又少。如果它是为了让师生去寻求自己的答案, 那么这是件好事, 但这个清单的目的是为了描述科学的本质特征, 它应当对教师是有用的, 但是正如前面所争论的, 有用与否取决于涉及HPS的阐述。如本书第五章所示, 在关于科学的内部及外部价值观、认知和伦理价值观的作用方面, 有数量相当可观的HPS文献, 如果老师参与讨论将会十分有益。

科学史和科学社会学说明了个人、社会、性别和文化兴趣对科学发展的影响。认识到这些影响是优秀科学教育的重要组成部分。通常, 只有从历史或另一种文化的角度来看, 这些假设才会变得明显。很少有人能比恩斯特·马赫表达得更好, 他在1883年出版的《力学史》中写道:

“对科学发展的历史研究是极为必要的, 避免其中蕴含的法则变成一个一知半解的系统, 或者更糟的是, 变成一个充满偏见的系统。历史研究不仅促进对现在的理解, 也为我们带来了新的可能性。”

(Mach 1883/1960, p. 316)

科学家背负着文化重担, 这一事实并不意味着他们的发现存在主观性或者他们的工作就是理性地妥协。几个世纪以来, 出身于不同文化、种族和宗教背景下的科学家们依赖于其他文化和早期科学家的成果开展自己的工作。如今, “西方”科学归功于来自全球各地的科学家。的确, 相比于英国和美国, 一些非西方文化对科学教育投入了更多, 也取得了更大的成功。这一事实符合科学的结构主义或客观主义理论, 这些理论主张科学独立于任何特定科学家的经验, 并且一般来说, 科学形态决定了科学家的经验, 而不是科学家的经验决定科学形态(Chalmers 1990)。

科学的特征

前文讨论过，莱德曼团队关于NOS清单的七项要素可以被看做是对FOS的不同描述、讨论和探究，而非用于学习和评估NOS的术语。正如之前讨论过的清单所列的三项要素，哲学家、历史学家及其他学者已经对每一种特征都进行了详细的描述。但如果它们是FOS，那么就无法很好地解释为何只选出了这七条特征，而不是其他众多的特征——譬如认识论的、历史的、心理学的、社会的、技术的、经济的特征等——这些特征能够表现科学的进步，也满足可获得性、一致性、有用性三个标准。而莱德曼团队正是用这三个标准来缩减NOS使其适应课堂教学。

该团队认识到，许多其他项目也可以添加到上面的清单中，这个清单并不是封闭的。这种开放性原则是变相的NOS教育术语。在哲学家中，关于NOS的讨论和辩论历来围绕着科学的认识论、方法论、本体论和伦理义务研究。然而也有启蒙性的、非哲学的科学研究，比如由历史学家、认知心理学家、社会学家、经济学家、人类学家和许多其他学科学者主导的研究，所有这些都可以贴上“科学研究”的标签。这个名词包含完整的学术谱系，所有组成部分都有其优点，反映着科学的不同特征。以下是一些附加的特征、话题、议题或问题，这些可以有效帮助教师和学生学习科学或教授NOS，这些特征已经在本书的第五章至第七章中列出。

第八项：实验

正如本书第六章所示，长期占统治地位的亚里士多德学派主张如果我们想要理解自然就不要干涉自然，这一长期禁令首先被伽利略著名的斜面实验打破，该实验让人了解到自由落体现象。此后其他早期现代科学的基础数据逐步确立，最著名的就是牛顿的光学棱镜实验。该实验可以使光线发生折射、色散、聚合。这里引用康德（Kant）的话来评价这个新引入的实验主义：

“当伽利略拿起测过质量的小球，使小球从斜面上滚落；当托里拆利（Torricelli）用空气托起了重量等同于他之前计算过的一定量的水……一道光照亮了所有学生的本性。他们发现，对原理的洞悉只有

经过对它的一番设计之后才能产生，在大自然的束缚下，原理并不允许自身像以往那样被人们所掌握。”

(Kant 1787/1933, p. 20)

康德写下这些时，普里斯特利（本书第七章所示）正在进行气动化学和后来被称为光合作用的研究。

关于这个主题历史学家和哲学家已经写了很多，并且其中一些人坚称是自然实验和操作策划了这场科学革命。该话题也可直接与学校实验室操作和学生实验等更复杂的理解联系起来（Chang 2010, Hodson 1993, 1996, Jenkins 1999）。这些都是任一NOS清单应当包含实验这一项很好的理由，并且如果从NOS思维转变为FOS思维，这一项也很容易加入其中，不会引发去掉某一项的争议。实验是学校科学的特点，是了解HPS的教师阐明重要科学特征的契机。

第九项：理想化

同样，这一项在第六章中也曾有所提及，而且在马修斯（2000a）中做过更为深入的阐述。伽利略是第一个将理想化植入自然探究的人，正是这种方法论的改变使他的新科学在中世纪和文艺复兴时期的背景中脱颖而出。伽利略认为，自然法则在自然界中并不明显，也无法通过直接经验得出，它仅适用于理想环境。这种理想化的运用与长期以来经验式的亚里士多德传统相悖，即“科学”是关于世界的所见和所感。亚里士多德认为：“如果我们不能相信我们的眼睛，那我们还能相信什么？”相反，伽利略在证明了他著名的抛物运动定律后说道：

“我承认这些经过抽象证明的结论在实际应用时会有所不同，实际中这甚至是错误的，它在水平方向上不是假定的速率，也不会有预期的自然加速度，路径也不是抛物线。”

(Galileo 1638/1954, p. 251)

只有理想化才能给实验特定指导，这是至关重要的，所以自然科学专业的学生——引用一句康德的名言——“在对它的一番设计之后”可以得到关于自然的模型。数十年乃至数百年以来，由伽利略开启的经典力学的发展就是一个将自然转化成理论对象的漫长过程；实验就是控制

所有经理论验证过的无关变量，以及改变会导致某一现象的单一变量。

历史学家威廉·布罗克 (William Brock) 在讨论约瑟夫·普里斯特利的研究时很好地写道：

“当科学理想化时，就会留下异常现象，需要后来的研究者提供解释，如‘副作用’、杂质的存在、改变物理条件等。但过去的例子一再表明……简化是科学过程的一个必要特征，也是知识进步的第一步。”

(Brock 2008, p. 78)

没有理想化就没有现代科学。因此，我们完全有理由在任何一个NOS清单上添加理想化这一项。同样，如果从用本质主义NOS思维思考转向更加灵活的用FOS思维思考，那么将理想化这一项加入其中会更加容易。

第十项：模型

众所周知，模型广泛存在于科学历史和现行实践中，确实很难想象没有模型的科学：原子的“弹子球模型”、“葡萄干—布丁模型”、“太阳系模型”、元素周期表的电子轨道模型、盐的晶体结构模型、电的流体流动模型、染色体的双螺旋模型、生态系统中人口增长的适者生存模型、光的粒子模型、宇宙大爆炸模型、日—地—月相互作用的三体模型、古生物学用骨碎片构建的完整的恐龙模型、地球物理学的板块构造模型、遗传和人口研究中的数学得分模型以及经济学、工程学等学科中成千上万的数学模型。任意一本科学教材十页内所包含的模型数量可能都是上述模型数量的两倍，并且其中许多模型都以全彩、高水准的图表呈现。

在过去的半个世纪里，科学史学家和科学哲学家花费了大量时间记录和解释模型在自然科学和社会科学中的地位。这些研究引导学者们去验证模型相关的话题，如科学理论的本质、假设的地位、比喻和类比在科学解释中的作用、科学思想实验以及理想化在构思中的中心地位、模型的应用和测试等。其中玛丽·海森 (Mary Hesse) 的《科学中的模型和类比》(Hesse 1966) 尤为重要。

心理学家和认知科学家关于模型的研究成果是推动模型相关教育研究的动力 (Gentner & Stevens 1983)，如菲利普·约翰逊 (Philip Johnson) 勋爵的《心理模型》(1983) 具有重要影响。他和同事详细阐

述了模型是具有普遍性的，不仅存在于科学中，还存在于我们的脑海中，进而为模型在科学中的广泛应用做出了解释。约翰逊勋爵写道：

“现在或许可以认为，心理模型在表征物体、事物状态、事件顺序、世界规律、日常生活的社会和心理行为方面发挥着核心统一的作用。它使得个体可以进行推理和预测，并理解现象，从而决定采取何种行动并在执行时进行控制，更重要的是通过样本获得经验。它们允许使用语言建立代表，并与直接从世界获得的经验相比较，并且通过概念和感知将词汇与世界联系起来。”

(Johnson-Laird 1983, p. 397)

在这里约翰逊勋爵回避了中心认知问题。尽管认识到模型的普遍性在人类推理中非常重要，并且是一项心理学成就，但这一认识恰恰使认识论与学习理论的结合变得更加重要，科学学习更是如此。认识到每一个人 and 每一种文化都有对自己的自然世界和社会世界的心理模型，并以此来解释认知和规范行为是同一件事情。研究这些模型如何发挥作用是合理的心理学和人类学研究。教育家、哲学家和科学家感兴趣的是什么样的心理模型可以更精确地反映或捕捉这个世界及其过程，哪些模型有利于知识的发展，这与看法不同，即便是非常有用的看法。心理学家并不需要这样做，因为学习的研究是中立的，学到的东西是真实的：学习占星术的心理过程与学习天文学的心理过程没有什么区别；学习精神疾病先兆与学习动脉也许涉及相同的机制；学习谬误也许与学习真理并没有什么不同。学习理论就认识论而言是盲目的，但教育却不是：教育的任务是弘扬真理而非愚昧，鼓励理性而非无理。也许“模型融入了所有推理”这样的说法令人感到欣慰，但说这种令人欣慰的话还为时尚早。这就是黑格尔说“在晚上，所有的牛都是黑的”这句话的情景。第二天早上，还是要将黑牛与白牛区分开来。

如果模型被视为科学的一个重要特征，那么有能力并了解HPS知识的教师应当可以为下列话题的课堂讨论提供丰富的材料和问题：模型与其模拟的世界怎样联系起来？学习模型的属性和学习世界是一样的吗？与很多FOS问题一样，这些问题并没有确定的答案，只有表述更好以及经过更充分辩论的答案¹⁵。

一旦一份NOS清单中包含了实验、理想化和模型这三项，其他重要的、吸引人的科学特征也可以添加到清单中了，例如：

11. 价值观；
12. 数学方法；
13. 技术；
14. 解释；
15. 世界观和宗教；
16. 理性；
17. 女权主义；
18. 现实主义和建构主义。

这些不同的特征在课程允许的条件下可以作为授课内容，也可以作为与科学相关的、重要的话题性事件出现在媒体报道中，或者由感兴趣的教师讲授。

FOS的教学目标

教师在科学教学时要有恰当的目标——FOS或者NOS都是这样。可喜的是，在AAAS基准文件的首页这样写道：“提出这些教条一般的理念对学生而言收获甚少。一方面来讲，这种理念本身就很微妙”（AAAS 1993, p. 5），同样的观点也出现在英国“科学观点”的课程中。该课程一再指出，学生将获得鉴别NOS定位和问题的能力，具备关于NOS的思维，而不是简单掌握关于NOS的陈述性知识。在此有必要对以下几点做出强调：第一，不能将FOS的观点当成教条，否则就会混淆教育与教化；第二，即便不是全部，大部分FOS的表述也是微妙的，能否认识到这种微妙仅仅取决于是否具有HPS意识。这两点对用于评估NOS学习复杂以及反复提到的主题均有影响。

期望学生或接受培训的教师成为称职的科学史学家、科学社会学家和科学哲学家是不现实的。我们应该在将NOS或FOS引进课堂时就限定目标。教师的目标应该是对科学有更复杂的理解，但不能是完全、过分复杂的理解。幸运的是，哲学不需要人为引入科学课堂，因为在任何课堂或是书本中它都不是那么遥不可及。最起码，任何课本或科学讨论都包含如“规律”、“理论”、“模型”、“解释”、“原因”、“真理”、“知识”、

“假说”、“证明”、“观察”、“证据”、“理想化”、“时间”、“空间”、“场”、“物种”等名词。一旦这些常见的、无处不在的名词得以解释、扩充和讨论，哲学就出现了。

没有必要拿“尖锐”的哲学问题来压倒学生。在学会走之前，他们必须先会爬；在学会跑之前，他们必须先会走。这仅仅是通识教育实践。还有许多低水平的哲学问题是合理的FOS问题：什么是科学解释？什么是对照实验？什么是关键实验？关键实验是否存在？模型在科学中是如何发挥作用的？假说在被证实之前需要多少证据？是否有方法评估竞争研究项目的价值？牛顿的宗教信仰影响他的科学研究吗？达尔文“损坏的书”这一类比是否可以作为反对进化论证据的有力回应？战争时期普朗克留在纳粹德国，并继续他的科学研究是否有罪？诸如此类。

同样，历史是不可回避的。课本里经常出现亚里士多德、哥白尼(Copernicus)、开普勒(Kepler)、伽利略、惠更斯、牛顿、波义耳、胡克(Hooke)、达尔文、孟德尔(Mendel)、法拉第(Faraday)、伏特(Volta)、拉瓦锡(Lavoisier)、普里斯特利、道尔顿(Dalton)、卢瑟福、马赫、居里(Curie)、玻尔、海森堡(Heisenberg)、爱因斯坦(Einstein)等人的名字。如韦斯塔韦早期所言，当老师“向(学生)谈及这些人的个性、生活和工作”，并鼓励学生研究这些科学家的生活、工作、时代以及影响力，“缩略版”的历史就会再次上演¹⁶。当学生在课堂上重做这些人的实验时，当学生再次就这些科学家展开争论时，当进行“历史—研究”教学时，当这些研究与其他学科相联系时，历史就“全面”展开了。

结论

每天的报纸、电视和网络都在报道关于社会—自然科学的争议和有关遗传学、农业综合企业、气候变化、转基因作物、全球变暖等辩论。如果理解FOS作为课程目标被接受，那么准备充分的老师应该可以在其发生时阐述一些观点，并且推进有用的课堂讨论，这些课堂讨论从个体争论中总结出适当的FOS要点。促进每个问题的讨论和理解是一个目标，看到每个争论中合适的FOS成分是我们的第二个目标，也是重要的课堂目标。诸如实验、模型、客观性、价值观、认知和非认知价值观等都可以详细阐述，从关注NOS到FOS这一变化可以极大地促进这种定位。一

些话题性和重要的事物也许不在NOS清单上,但仍可以进行详细地阐述和教授。NOS研究关注科学知识的本质,FOS也包含这个,但同时也关注这些知识产生的过程、体系、文化和社会背景。正如在其他地方讨论过的,这里需要注意的是:

“当提高科学史与科学哲学或认识论的重要地位时,科学教育工作者应该是谦逊的……谦逊并非是无原则地保持中立,而是认识到多数重大的知识性问题都具有两面性(或更多)。这种认识需要机智灵活地转化到课堂实践中。”

(Matthews 1998, p. 170-169)

注释

1. 本章引用了马修斯(2012)发表的研究。
2. 至少参考:Arons(1988)、Jung(1994, 2012)、Norris(1985, 1997)、Schulz(2009, 2014)、Stenhouse(1985)、Stinner(1989)以及Matthews(2014)76章的内容。
3. 参考《科学与教育》的专题研究成果(Vol.6, No.4 1997, Vol.7, No.6 1998)、McComas(1998b)、Flick和Lederman(2004)以及Khine(2012)。另外参考Abd-El-Khalick和Lederman(2000)以及Lederman(2007)的文献综述以及Bell *et al.*(2001)的参考书目。
4. NOS研究的历史广泛记载于Duschl和Grandy(2013)、Hodson(2014)以及Lederman *et al.*(2014)。
5. Gürol Irzik与Robert Nola(2011, 2014)对此问题进行过令人信服的讨论。
6. 近期一篇题为《科学哲学与科学教育实践的相互作用》的文章认为:科学教育团体见证了近几十年从逻辑实证主义或经验主义到建构主义的范式转变(Tsai 2003)。
7. 威廉·麦科马斯在他的一篇论文中“给出并讨论了15条广泛认同的科学本质的观点,但都是错误的。”(McComas 1998b, p. 53)。
8. 从20世纪50年代至今使用的NOS评估工具,参考Hodson(2014)以及Lederman *et al.*(2014)。
9. 现为芝加哥理工学院科学教育专业的诺曼·莱德曼教授,曾任教于俄勒冈州立大学。他原来在俄勒冈州立大学的学生福阿德·阿布德·哈力克(Fouad Abd-El-Khalick)、蕾妮·施瓦兹(Renee Schwartz)、瓦莱丽·埃克森(Valarie Akerson)和兰迪·贝尔(Randy Bell),都在该领域发表过多篇论文。
10. 该清单在以下文章中均得到明确论述及辩护:Lederman *et al.*(2002, pp. 499-502)、Lederman(2004, pp. 303-308)以及Schwartz和Lederman(2008, pp. 745-762)。
11. 至少参考:Flick和Lederman(2004, Chapter IV)、Schwartz和Lederman(2008)以及Chen(2006)。
12. 米尔(Meehl)和麦科克代尔(MacCorquodale)(1948)就假设性建构(原则上存在)和中介变量(原则上不存在)的区别进行了一次经典的讨论。在这个问题上可以明确的是它在社会科学中是极其重要的:例如“知识”被理解为一个假设性建构还是一个中介变量?有那么多的人论述这个问题是因为研究人员还没有搞清他们想研究的对象的性质。

13. 鲍里斯·黑森 (Boris Hessen) 于1931发表的《牛顿原理的社会经济根源》(Hessen 1931) 对这个“因果关系”的地位做出了经典的陈述。关于黑森的文章和注释参见Freudenthal 和 McLaughlin (2009)。
14. 该话题已在本书第十章中讨论过, 也可参考Nola 和 Irzik (2005)。
15. 大量相关研究的信息可以参见《科学与教育》期刊的专题“科学与科学教育中的模型”(2007, Vol.16 nos.7-8)。该专题所有的内容可以参见综述Passmore *et al.* (2014)。
16. 从20年前本书第一版起, 向公众开放的维基百科及无数网络原创作品使学生的研究发生了转变。

参考文献

- AAAS (American Association for the Advancement of Science): 1993, *Benchmarks for Science Literacy*, Oxford University Press, New York.
- Abd-El-Khalick, F.: 2004, 'Over and Over Again: College Students' Views of Nature of Science'. In L.B. Flick and N.G. Lederman (eds) *Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 389-425.
- Abd-El-Khalick, F.: 2005, 'Developing Deeper Understanding of Nature of Science: The Impact of a Philosophy of Science Course on Preservice Science Teachers' Views and Instructional Planning', *International Journal of Science Education* 27(1), 15-42.
- Abd-El-Khalick, F. and Lederman, N.G.: 2000, 'Improving Science Teachers' Conceptions of the Nature of Science: A Critical Review of the Literature', *International Journal of Science Education* 22(7), 665-701.
- Arons, A.B.: 1988, 'Historical and Philosophical Perspectives Attainable in Introductory Physics Courses', *Educational Philosophy and Theory* 20(2), 13-23.
- Bazzul, J. and Sykes, H.: 2011, 'The Secret Identity of a Biology Textbook: Straight and Naturally Sexed', *Cultural Studies of Science Education*, 6, 265-286.
- Bell, R.L., Abd-el-Khalick, F., Lederman, N.G., McComas, W.F. and Matthews, M.R.: 2001, 'The Nature of Science and Science Education: A Bibliography', *Science & Education* 10(1-2), 187-204.
- Beyerchen, A.D.: 1977, *Scientists Under Hitler: Politics and the Physics Community in the Third Reich*, Yale University Press, New Haven, CT.
- Birstein, V.J.: 2001, *The Perversion of Knowledge: The True Story of Soviet Science*, Westview, Cambridge, MA.
- Brock, W.H.: 2008, 'Joseph Priestley, Enlightened Experimentalist'. In I. Rivers and D.L. Wykes (eds) *Joseph Priestley: Scientist, Philosopher, and Theologian*, Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 49-79.
- Chalmers, A.F.: 1990, *Science and Its Fabrication*, Open University Press, Milton Keynes, UK.
- Chan, K.W. and Elliott, R.G.: 2004, 'Relational Analysis of Personal Epistemology and Conceptions About Teaching and Learning', *Teaching and Teacher Education* 20(8), 817-831.
- Chang, H.: 2010, 'How Historical Experiments Can Improve Scientific Knowledge and Science Education: The Cases of Boiling Water and Electrochemistry', *Science & Education* 20(3-4), 317-341.
- Chen, S.: 2006, 'Development of an Instrument to Assess Views on Nature of Science and Attitudes Towards Teaching Science', *Science Education* 90(5), 803-819.
- Cohen, R.S.: 1975, *Physical Science*, Holt, Rinehart & Winston, New York.
- Dewey, J.: 1910, 'Science as Subject-Matter and as Method', *Science* 31, 121-127. Reproduced in *Science & Education* 1995, 4(4), 391-398.
- Duschl, R. and Grandy, R.: 2013, 'Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science', *Science & Education* 22(9), 2109-2139.

- Duschl, R.A.: 1985, 'Science Education and Philosophy of Science, Twenty-five Years of Mutually Exclusive Development', *School Science and Mathematics* 87(7), 541-555.
- Duschl, R.A.: 1990, *Restructuring Science Education: The Importance of Theories and Their Development*, Teachers College Press, New York.
- Duschl, R.A.: 2004, 'Relating History of Science to Learning and Teaching Science: Using and Abusing'. In L.B. Flick and N.G. Lederman (eds) *Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 319-330.
- Fermi, L. and Bernadini, G.: 1961, *Galileo and the Scientific Revolution*, Basic Books, New York.
- Flick, L.B. and Lederman, N.G. (eds): 2004, *Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning and Teacher Education*, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
- Forman, P.: 1971, 'Weimar Culture, Causality and Quantum Theory, 1918-1927: Adaptation by German Physicists and Mathematicians to a Hostile Intellectual Environment'. In R. McCormach (ed.) *Historical Studies in the Physical Sciences*, No.3, University of Pennsylvania Press, Philadelphia, pp. 1-116.
- Freudenthal, G. and McLaughlin, P. (eds): 2009, *The Social and Economic Roots of the Scientific Revolution. Texts by Boris Hessen and Henryk Grossmann*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Galileo, G.: 1638/1954, *Dialogues Concerning Two New Sciences* (trans. H. Crew and A. de Salvio), Dover Publications, New York (originally published 1914).
- Gentner, D. and Stevens, A. (eds): 1983, *Mental Models*, Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ.
- Graham, L.R.: 1973, *Science and Philosophy in the Soviet Union*, Alfred A. Knopf, New York.
- Hesse, M.B.: 1966, *Models and Analogies in Science*, University of Notre Dame Press, South Bend, IN.
- Hessen, B.M.: 1931, 'The Social and Economic Roots of Newton's *Principia*'. In *Science at the Crossroads*, Kniga, London. Reprinted in G. Basalla (ed.) *The Rise of Modern Science: External or Internal Factors?* D.C. Heath, New York, 1968, pp. 31-38.
- Hodson, D.: 1986, 'Philosophy of Science and the Science Curriculum', *Journal of Philosophy of Education* 20, 241-251. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto, 1991, pp. 19-32.
- Hodson, D.: 1988, 'Toward a Philosophically More Valid Science Curriculum', *Science Education* 72, 19-40.
- Hodson, D.: 1993, 'Re-Thinking Old Ways: Towards a More Critical Approach to Practical Work in Science', *Studies in Science Education* 22, 85-142.
- Hodson, D.: 1996, 'Laboratory Work as Scientific Method: Three Decades of Confusion and Distortion', *Journal of Curriculum Studies* 28, 115-135.
- Hodson, D.: 2008, *Towards Scientific Literacy: A Teachers' Guide to the History, Philosophy and Sociology of Science*, Sense Publishers, Rotterdam, The Netherlands.
- Hodson, D.: 2009, *Teaching and Learning About Science: Language, Theories, Methods, History, Traditions and Values*, Sense Publishers, Rotterdam, The Netherlands.
- Hodson, D.: 2014, 'Nature of Science in the Science Curriculum: Origin, Development and Shifting Emphases'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 911-970.
- Holmyard, E.J.: 1924, *The Teaching of Science*, Bell, London.
- Holton, G.: 1975, 'Science, Science Teaching and Rationality'. In S. Hook, P. Kurtz and M. Todorovich (eds) *The Philosophy of the Curriculum*, Prometheus Books, Buffalo, NY, pp. 101-118.
- Holton, G.: 1978, 'On the Educational Philosophy of the Project Physics Course'. In his *The Scientific Imagination: Case Studies*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 284-298.
- Hoodbhoy, P.: 1991, *Islam and Science: Religious Orthodoxy and the Battle for Rationality*, Zed Books, London.
- Huxley, T.H.: 1868/1964, 'A Liberal Education; and Where to Find It'. In his *Science & Education*, Appleton, New York, 1897 (originally published 1885). Reprinted, with Introduction by C. Winick, Citadel Press, New

- York, 1964, pp. 72-100.
- Irzik, G. and Nola, R.: 2011, 'A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education', *Science & Education* 20(7-8), 591-607.
- Irzik, G. and Nola, R.: 2014, 'New Directions in Nature of Science Research'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 999-1021.
- Jenkins, E.W.: 1999, 'Practical Work in School Science: Some Questions to be Answered'. In J. Leach and A.C. Paulsen (eds) *Practical Work in Science Education: Recent Research Studies*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 19-32.
- Johnson-Laird, P.N.: 1983, *Mental Models*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Jung, W.: 1994, 'Preparing Students for Change: The Contribution of the History of Physics to Physics Teaching', *Science & Education* 3(2), 99-130.
- Jung, W.: 2012, 'Philosophy of Science and Education', *Science & Education* 21(8), 1055-1083.
- Kang, N.H.: 2008, 'Learning to Teach Science: Personal Epistemologies, Teaching Goals, and Practices of Teaching', *Teaching and Teacher Education* 24, 478-498.
- Kant, I.: 1787/1933, *Critique of Pure Reason*, 2nd edn (trans. N.K. Smith), Macmillan, London (1st edition, 1781).
- Khine, M.S. (ed.): 2012, *Advances in Nature of Science Research: Concepts and Methodologies*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Klopfer, L.E.: 1969, 'The Teaching of Science and the History of Science', *Journal of Research in Science Teaching* 6, 87-95.
- Lakatos, I.: 1978, 'History of Science and Its Rational Reconstructions'. In J. Worrall and G. Currie (eds) *The Methodology of Scientific Research Programmes*, Vol.I, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 102-138 (originally published 1971).
- Lederman, N.G.: 2004, 'Syntax of Nature of Science Within Inquiry and Science Instruction'. In L.B. Flick and N.G. Lederman (eds) *Scientific Inquiry and Nature of Science*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 301-317.
- Lederman, N.G.: 2007, 'Nature of Science: Past, Present and Future'. In S.K. Bell and N.G. Lederman (eds) *Handbook of Research on Science Education*, Lawrence Erlbaum, Mahwah, NJ, pp. 831-879.
- Lederman, N., Abd-el-Khalick, F., Bell, R.L. and Schwartz, R.S.: 2002, 'Views of Nature of Science Questionnaire: Towards Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of the Nature of Science', *Journal of Research in Science Teaching* 39, 497-521.
- Lederman, N.G, Bartos, S.A. and Lederman, J.: 2014, 'The Development, Use, and Interpretation of Nature of Science Assessments'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 971-997.
- Lindberg, D.C. and Numbers, R.L. (eds): 1986, *God and Nature: Historical Essays on the Encounter between Christianity and Science*, University of California Press, Berkeley, CA.
- McComas, W.F. (ed.): 1998a, *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- McComas, W.F.: 1998b, 'The Principal Elements of the Nature of Science: Dispelling the Myths'. In W.F. McComas (ed.) *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 53-70.
- McComas, W.F.: 2014, 'Nature of Science in the Science Curriculum and in Teacher Education Programmes in the United States'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1993-2023.
- Mach, E.: 1883/1960, *The Science of Mechanics*, Open Court Publishing, LaSalle, IL.

- Mach, E.: 1886/1986, 'On Instruction in the Classics and the Sciences'. In his *Popular Scientific Lectures*, Open Court Publishing, LaSalle, IL, pp. 338-374.
- Martin, M.: 1972, *Concepts of Science Education: A Philosophical Analysis*, Scott, Foresman, New York (reprinted University Press of America, 1985).
- Martin, M.: 1974, 'The Relevance of Philosophy of Science for Science Education', *Boston Studies in Philosophy of Science* 32, 293-300.
- Matthews, M.R.: 1997, 'James T. Robinson's Account of Philosophy of Science and Science Teaching: Some Lessons for Today from the 1960s', *Science Education* 81(3), 295-315.
- Matthews, M.R.: 1998, 'In Defence of Modest Goals for Teaching About the Nature of Science', *Journal of Research in Science Teaching* 35(2), 161-174.
- Matthews, M.R.: 2000a, *Time for Science Education: How Teaching the History and Philosophy of Pendulum Motion Can Contribute to Science Literacy*, Kluwer Academic Publishers, New York.
- Matthews, M.R.: 2000b, 'Constructivism in Science and Mathematics Education'. In D.C. Phillips (ed.) *National Society for the Study of Education 99th Yearbook*, National Society for the Study of Education, Chicago, IL, pp. 161-192.
- Matthews, M.R.: 2004, 'Thomas Kuhn and Science Education: What Lessons can be Learnt?', *Science Education* 88(1), 90-118.
- Matthews, M.R.: 2012, 'Changing the Focus: From Nature of Science (NOS) to Features of Science (FOS)'. In M.S. Khine (ed.) *Advances in Nature of Science Research*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 3-26.
- Matthews, M.R. (ed.): 2014, *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, 3 volumes, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Meehl, P. and MacCorquodale, K.: 1948, 'On a Distinction Between Hypothetical Constructs and Intervening Variables', *Psychological Review* 55, 95-107.
- Nanda, M.: 2003, *Prophets Facing Backward. Postmodern Critiques of Science and Hindu Nationalism in India*, Rutgers University Press, New Brunswick, NJ.
- Needham, J. and Ling, W.: 1954-1965, *Science and Civilisation in China*, Vols. 1-4, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Niaz, M.: 2009, *Critical Appraisal of Physical Science as a Human Enterprise: Dynamics of Scientific Progress*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Niaz, M.: 2010, *Innovating Science Teacher Education: A History and Philosophy of Science Perspective*, Routledge New York.
- Nola, R. and Irzik, G.: 2005, *Philosophy, Science, Education and Culture*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Norris, S.P.: 1985, 'The Philosophical Basis of Observation in Science and Science Education', *Journal of Research in Science Teaching* 22(9), 817-833.
- Norris, S.P.: 1997, 'Intellectual Independence for Nonscientists and Other Content-Transcendent Goals of Science Education', *Science Education* 81(2), 239-258.
- Passmore, C., Svoboda-Gouvea, J. and Giere, R.: 2014, 'Models in Science, and in Learning Science: Focusing Scientific Practice on Sense-making'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1171-1202.
- Reiss, M.: 2014, 'What Significance Does Christianity Have for Science Education?'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1637-1662.
- Robinson, J.T.: 1968, *The Nature of Science and Science Teaching*, Wadsworth, Belmont, CA.
- Rutherford, F.J.: 1972, 'A Humanistic Approach to Science Teaching', *National Association of Secondary School Principals Bulletin* 56(361), 53-63.
- Rutherford, F.J.: 2001, 'Fostering the History of Science in American Science Education: The Role of Project

- 2061', *Science & Education* 10(6), 569-580.
- Schulz, R.M.: 2009, 'Reforming Science Education: Part I. The Search for a Philosophy of Science Education', *Science & Education* 18(3-4), 225-249.
- Schulz, R.M.: 2014, 'Philosophy of Education and Science Education: A Vital but Underdeveloped Relationship'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1259-1315.
- Schwab, J.J.: 1949, 'The Nature of Scientific Knowledge as Related to Liberal Education', *Journal of General Education* 3, 245-266. Reproduced in I. Westbury and N.J. Wilkof (eds) *Joseph J. Schwab: Science, Curriculum, and Liberal Education*, University of Chicago Press, Chicago, IL, 1978, pp. 68-104.
- Schwartz, R. and Lederman, N.: 2008, 'What Scientists Say: Scientists' Views of Nature of Science and Relation to Science Context', *International Journal of Science Education* 30(6), 727-771.
- Stenhouse, D.: 1985, *Active Philosophy in Education and Science*, Allen & Unwin, London.
- Stinner, A.: 1989, 'The Teaching of Physics and the Contexts of Inquiry: From Aristotle to Einstein', *Science Education* 73(5), 591-605.
- Taber, K.S.: 2009, *Progressing Science Education: Constructing the Scientific Research Programme into the Contingent Nature of Learning Science*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Taber, K.S.: 2014, 'Methodological Issues in Science Education Research: A Perspective From the Philosophy of Science'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1839-1893.
- Tsai, C.-C.: 2003, 'The Interplay between Philosophy of Science and the Practice of Science Education', *Curriculum and Teaching* 18, 27-43.
- Westaway, F.W.: 1929, *Science Teaching*, Blackie, London.
- Whewell, W.: 1855, 'On the Influence of the History of Science Upon Intellectual Education', *Lectures on Education Delivered at the Royal Institution on Great Britain*, J.W.Parker, London.

本章将要讨论的是，科学教师要想成为有准备的教育家（区别于教练、指导员或仅仅是学科教师），需要具备适当的学历、学科能力，并且接受过基本培训（尤其是哲学方面的培训），了解HPS知识，最终具备教育哲学素养。虽然这些能力与知识的获得无法一蹴而就，但从教师培训课程的每个领域开始实施，随后就会逐步建立起来。

所有人都认为聪明、知识渊博且具有魅力的教师对优质教育至关重要，这类教师了解所教学科、喜爱学生、对教学感兴趣并且具备相应的教学能力、熟悉新兴网络和其他技术并能够全身心投入教学。此外，教师需要做的不仅仅是教授和鼓励学生学习相应的学科，他们还需要开发本土课程或是将国家、地方课程本土化，他们需要参与学校管理和学校政策制定，如本校开设的学科、起始年级以及教授对象等。当然，他们还需要与课堂外整个教学系统中的学生、家长和管理者保持联系。这些复杂而重要的任务需要优秀的、有准备的教师，教师则需要和很多人一起完成多方面的事情。然而，在如何更好地培养教师方面，人们鲜有共识（Yager & Penick 1990）。我们需要某种意义上可为教师培训提供指导和标准的统一目标。40年前美国发生教育危机时，查尔斯·西尔贝曼（Charles Silberman）已经清楚地意识到：

“教师教育的中心任务是为教师提供使命感或教育哲学（如果可以的话）。这就意味着培养教师严肃、深入和持续思考他们行为的目的和结果的能力，并思考行为如何影响目的且如何被目的影响。此处的行为是指他们的课程、教学方式、课堂和学校体制、测试及评分过程。”

（Silberman 1970, p. 472）

和所有教师一样，科学教师一定要“严肃而深刻地”思考他们所教

的学科，换句话说，所有教师都需要思考所教学科的历史和哲学。教师需要一个教育指南，但是现在有很多指南，所指方向各不相同。哲学是制作教育指南的必要条件，这样制作的指南指向教育北极，有助于教师成为真正的教育者，有助于巩固他们的社会地位，为他们在无数专业决策中提供指导。由于根深蒂固的专业和学术利益的存在，以及大多数政策制定时政治和经济利益的浮现，人们在如何设计和改进教育指南使其适应教师培训这一议题上一直争论不休²。

1986年，美国在教师教育方面发表了两份报告，再次引发了对这一主题的热议。这两份报告是：卡耐基基金会（the Carnegie Foundation）发表的《准备就绪的国家》和霍姆斯集团（the Holmes Group）发表的《未来的教师》（Fraser 1992）。关于教师培训的最佳组织方式有多种不同观点，有些国家不要求或只要求进行少量培训，仅仅让有兴趣的科学专业的毕业生或在科学专业工作的人进入学校参与类似学徒体验式的学习。这种模式曾在美国应用过，培训主要是围绕不同形式的“为美国而教”的项目。在英国，政府则在一定程度上绕过大学教师培训，采用19世纪校内学徒培训模式（Hirst 2008）。然而，更为常见的是要求人们参加正式的教师培训（Darling-Hammond 1999）。

对未来的教师来说，接受大学教育是非常必要的，但是关于受教育的内容一直存在争议。传统上，这类学习由理论或基础学习（以哲学、社会学和教育心理学为代表）和应用或教学法学习（以课程学习、教学法和教学实践为代表）组成。过去40年间的形势是以牺牲前者为代价来强调后者³。保罗·赫斯特（Paul Hirst）注意到英国1994年《教育法案》（Education Act）的要求：

“这些限制条件坚持所有教育课程之间具有直接的实践相关性，这导致英国大学中与教育理论相关的学科，所有课程几乎全被取消。”

（Hirst 2008, p. 309）

正因为如此，举例来说，在近期出版的包含76章的《教师和教学研究手册》（Saha & Dworkin 2009）一书中并没有与“基础研究”或是任何特定基础学科相关的词条。本章将提出一些建议，使融入HPS的哲学和

心理学课程能够替代或丰富常规的基础理论课程，并极大地减少学生经常抱怨的无关要素。不仅如此，HPS还能够丰富标准方法或课程以及教学科目，这可以看做以“特洛伊木马”的方式将需要的哲学融入教师教育当中。

教育哲学

所有教师都会遇到哲学问题。有些出现在个别的教师—学生层面（如什么是合适的学科？什么是不合适的学科？）；有些出现在班级层面（如数学教学的目标是什么？）；有些出现在学校层面（如班级的组织方式应该按照综合能力水平还是成绩水平？）；还有一些出现在系统层面（如政府是否应该资助私立学校？如果答案是肯定的，那么依据是什么？）。下面这些教师经常面临的问题中也需要一定的哲学知识：如何精心设计和捍卫特定的教育目标？如何对灌输与教育进行区分，并确定前者的合理范围？教师和学生之间彼此尊重的要求是什么？教师专业独立性的限制是什么？在教授“争议性问题”时，教师应不应该表达自己的观点？在这些问题上，教师应不应该力求使学生的观点与教师个人的观点一致？在课程中，选取和筛除某些主题的依据是什么？国家、教会、商业、学校理事会、家长和其他股东在学校课程建设与评估和教科书的选取上有哪些合法权利？在教育过程中，文化和传统的合理要求和不合理要求是什么？学校如何协调文化传播和文化改革之间的竞争目的？大量的资金、人员雇佣和分班决策的伦理和政治理由是什么？

在学校，无论是教授数学、音乐、经济、历史、文学、神学还是其他学科，所有教师都会碰到这些哲学的、常规的、非实证的问题。教师对这些一般性问题的参与程度越深入、越透彻、越细微，其所做的准备就会越专业、越充分。对这种准备的需求证明职前教师培训和在职教师教育培训包含教育哲学是正确的：很明显，单纯运用“如何做”或课堂管理这类课程对解决上述问题毫无用处。当然，为哲学辩护并不总是导向包含哲学，在教育中，正确的论点总是与其他想法处于平衡状态。

上述问题和探讨属于广义教育哲学的范畴。这个学科拥有悠久而卓越的历史，许多著名的哲学家和教育者都为此做出过巨大贡献，如柏拉

图(Plato)、亚里士多德(Aristotle)、阿奎那(Aquinas)、洛克(Locke)、密尔(Mill)、怀特黑德(Whitehead)、拉塞尔(Russell)、杜威(Dewey)、彼得斯(Peters)、赫斯特(Hirst)和舍夫勒(Scheffler)(仅列举排在西方国家前十一位的专家)。这些一般性议题在以下主要研究期刊中大量涌现且被讨论,如:《教育哲学和理论》、《哲学和教育学研究》以及《教育哲学和教育理论》等期刊,不同国家教育哲学学会的年会记录,尤其是美国和英国的相关年会记录,《布莱克威尔教育哲学指南》(Curren 2003)和《牛津大学教育哲学手册》(Siegel 2009)等大型手册以及过去60年间出版的大量书籍。

值得注意的是,正规教育哲学的特征是忽略科学教育以及在科学教学中产生的特定的哲学思考,这一点多少让人感到沮丧。上个世纪最后几十年,教育哲学分析领域有大量的文集,它们在专业领域中占据主导地位,但几乎都不涉及科学教育问题或与HPS有关的任何分析。例如理查德·彼得斯(Richard Peters)颇具影响力的著作(Peters 1959, 1966, 1967, 1973, 1974)很大程度上对该专业领域进行了界定,但并未提及这些问题。同样的情况还出现在一些教育哲学分析领域的权威文集中,如三卷本的教育分析哲学代表性作品——《教育与理性的发展》(Dearden *et al.* 1972)。这些书和相关文献是教师教育(包括科学教师教育)哲学方面的主要材料。在这个后人造卫星时代,科学课程全面修订,此时全世界范围内忽略科学和HPS十分令人费解。同时,随着库恩(Kuhn)《科学革命的结构》(Kuhn 1962/1970)的出版以及随之而来的席卷所有高校教师团队的学术研究浪潮,HPS也有了自己的“腾飞时刻”。据此推测,正规的教育哲学应该已经融入科学课程和学术性的HPS事业中,然而除了少数例外,这种情况并没有发生⁴。

休谟奖学金的获得者彼得·倪里崎(Peter Nidditch)在1973年出版的《教育哲学新文选》选集中发表了最后一篇题为《教育哲学和科学在课程中的位置》的文章(Nidditch, 1973)。大卫·斯滕豪斯(David Stenhouse)出版了一本关于教育哲学和科学教育的书(Stenhouse 1985)。美国哲学教育协会前主席丹尼斯·菲利普斯(Denis Phillips)在这一领域发表了大量有价值的文章(Phillips 1981, 2000)。哈佛·西格尔(Harvey Siegel),另一位哲学教育协会前主席,也是伊斯雷尔·舍

夫勒 (Israel Scheffler) 的学生, 同样就科学教育问题发表了重要文章 (Siegel 1978, 1979, 1989, 1993)。对科学而言, 另一个受到教育哲学家忽视的案例是伊斯雷尔·舍夫勒的教育著作 (Scheffler 1973)。舍夫勒是一位著名的科学哲学家 (Scheffler 1963b, 1966/1982), 下文将详述他的工作。

哲学和清晰交流

最好的哲学需要不断地提炼和改进想法并加深理解, 因此它也重视清晰交流——因为清晰交流是取得上述进步的先决条件。教师教育和研究生教育应该重视和促进清晰交流。苏格拉底式提问经常会问“你的意思是……?” 这恰恰是科学教育中需要培养的环节, 因为科学教育中存在着大量不够清晰、甚至完全模糊的交流。40年前, 保罗·瓦格纳 (Paul Wagner) 和克里斯多夫·卢卡斯 (Christopher Lucas) 肯定了下述观点:

“我们认为, 为了逐渐达到上文提及的科学教育中更广泛的目标, 应该关注哲学分析作为科学教学教育资源的使用。这篇论文的总结如下: 在小学阶段, 哲学问题应该领先或伴随儿童参与科学活动, 小学阶段为以后科学学习奠定了基础。”

(Wagner & Lucas 1977, p. 550)

清晰交流的最基本要求是谨慎使用语言, 知道词汇的意思, 在交流中尽可能表达清晰明确。只有这些与学生年龄相适应的基本分析能力得到重视和培养, 科学思维和实践才能得到提升; 反之, 如果写作时粗心大意, 满纸胡言乱语, 那么科学思维和实践的发展将会变得缓慢。

交流时小心谨慎并不是现代的观念。托马斯·斯普拉特 (Thomas Sprat) 在他 1667 年《英国皇家学会史——为了提升自然知识》一书中认为值得关注“他们的说话方式”:

“这个学会最关注的还有一件事, 那就是他们说话的方式……他们严格要求所有成员以简洁、直接、自然的方式说话; 表达确切, 意义清楚; 朴实平易; 尽可能将所有事情表达准确清楚。相比于才

子和学者的语言，他们更偏爱手艺人、乡下人和商人的语言。”

(Sprat 1667/1966, Pt.II, Sect.xx)

如果当初学术界“采纳”英国皇家学会“清晰直接的表达”这一建议，那么350年后，科学教育的很多方面都会得到改善。思考下面这段话：

“人类目的与替代行为是不对称的，这就形成了‘抵抗和适应的辩证逻辑’形式，此处‘抵抗’是指在实践中未能获取预期的替代，而‘适应’是指人类对‘抵抗’实施的积极策略，这包括对以下内容的修正：目标、意图、讨论中机械的材料形式、人类的姿态架构以及周围的社会关系。”

(Pickering 1995, p. 22)

要理解这个含有78个单词的句子是很困难的。我们再看这一段：

“只有充满生机且有感觉的身体——由于自我感觉的存在能够感受到自身的运动，或能够拥有协调自我运动和感知外部存在之间关系的实践知识——才能成为一个有知识的个体……在概念上，感官现象的整体性和一致性并没有被整体认知识别，作为一个知性论者应当考虑到这一点，但是这个整体是建立在充满生机的个体（肉体）之上，并将其作为一个协调的整体。”

(Roth, 2011, p. 233)

此处的意思依然不够清晰。再看这一段：

“另一方面，如果我们从差异的本体论假设出发，这种差异本身就是存在的。也就是说，如果认识到 $A \downarrow A$ （例如，经过一段时间之后，不同的墨滴在不同的时刻吸附在不同的纸粒子上），那么所有相同和一致性都是以下工作的结果：不仅需要均等地设定两个事物、概念或过程，还需要排除实际上存在的、固有的和无法避免的差异性。这种假设是男性中心主义认识论用于理解科学的有害部分，因为这种方法将统一系统分解为一系列变量，而这些变量仅仅是上级系统外部、片面的表达。”

(Roth & Tobin 2007, pp. 99-100)

这111个单词所主张的意思是个谜，它也许超越了能够翻译成手艺人、乡下人和商人的语言的可能性。类似的难以理解的主张比比皆是。再来思考一本主要的科学教育手册中出现的如下主张：

“虽然采用了不同的‘方法论’，但却将自身隐藏在社会正义的关键性理论信仰与结合理论、论述、身份和政治等关键性教育支撑之中。在研究采纳方法论和关键理论对话的合作中包含被称为‘后现代’的关键性实践及彻底的不确定性两者之间的相互作用。”

(Steinberg & Kincheloe 2012, p. 1492)

说得委婉一些，这种说法是极难理解的——在社会公正理应受到支持的情况下，这种遗憾还要增加一倍。社会公正始终得益于直率的说明，得益于工匠式的语言表达。再看下面这段：

“在20世纪的后25年中，课程领域经历了范式转变。政治分析、现象研究和基于性别的心理学分析三者结合，使得实证主义探究的霸权地位和课程发展的单一视角的思想发生了改变。”

(Sears 2003, p. 227)

虽然有些困难，但人们把这些主张的意思梳理了出来，这种写作方式既陈腐老套又晦涩难懂。它也许会和唱诗班产生共鸣，但很难在市民、教师或管理者中提高教育工作者的名望。

强调这些例子是因为它们是一类顽疾的标志，而这类顽疾不仅在教育领域，而且在整个学术界都会对学识和理解造成威胁。在科学教育书籍和期刊中还存在着无数类似的例子⁵。斯蒂芬·沙宾(Stephen Shapin)对科学史学科衰退的解释同样也适用于科学教育：

“值得注意的问题是，拙劣写作中的某些特定类型可以说是一种惯例。新手将这些拙劣的写作看做是专业化的标志并努力学习，他们拒绝使用本国语言，因为它看起来不够聪明；他们对模糊的东西进行猜测，使其含义变得深刻。有一些东西的确很难用常规英语来表达，但远没有学术界认为的那么难。”

(Shapin 2005, p. 239)

丹尼尔·丹尼特(Daniel Dennett)和米歇尔·福柯(Michel Foucault)的对话很好地再现了这一学术衰退现象:

“‘米歇尔，你说话很清晰，为什么写作却如此晦涩?’米歇尔回应道:‘那是因为，为了能够得到法国哲学家的重视，文章中四分之三的内容不得不是令人费解的废话’。”

(Dennett 2006, p. 405)

丹尼特为这种语言退化的现象杜撰了一个新词 *eumerdification*，这个词最好留给读者自己去理解。

尼古拉斯·沙克尔(Nicholas Shackel)在对后现代主义者(他认为包括后建构主义者、解析主义者、“强纲领”的倡导者和女权主义反理性主义者)的哲学观点进行广泛批判时，将注意力聚焦在持续使用语言和修辞学策略以增加说服力:

“许多由后现代主义者提供的哲学条款受到了全面反驳，然而人们依旧被一系列劝说信仰后现代主义的不诚实策略所欺骗。总是不断对这些以新形式出现的策略进行反驳，会使人愈发厌倦。”

(Shackel 2005, p. 295)

并不是所有事情都必须或能够用简单的措辞来表达。知识的进步的确需要新概念和新词汇(或是重新定义的词汇)——如“剩余价值”、“自由”、“自然选择”、“惯性”、“速度”、“加速度”、“氧气”等。然而，“这是什么意思?”是一个对所有这类术语都需要提出的问题，这种提问是一种基本的哲学习惯，需要在教师培训和研究生教育中进行培养。上述摘录中提及的文章以及它们的代表流派，必将受益于这种基本哲学实践的常规应用，大卫·休谟(David Hume)将其称为“缓慢的、长期的方法”。只要进行足够的实践，这种方法甚至能够克服蒙昧主义存在的问题。

无论分析哲学可能存在什么样的问题，它确实具有重视清晰表达、直接交流的优点，这二者对科学和科学教育都具有重要作用。对表12.1中的摘录进行思考并考虑将其转化为英国皇家学会所谓的“手艺人、乡下人和商人”的语言。

表 12.1 通俗的翻译

教育话语	通俗翻译
“由于共同参与涉及共享语言的交涉协商，因此重点应当是维持一个动态系统。在这个系统中，杂乱的资源受到主流文化的制约，因而朝着一个方向发展，同时展示了对少数民族文化参与者习俗的尊重，并一直防范符号暴力的衰减。”（Tobin 1998, p. 212）	在某种程度上，教学对文化价值观很敏感。
“因此，产生意义是这样一个对话过程，会涉及谈话中的人，学习则被看做是由更加熟练的成员将文化介绍给个人的过程。在这个过程中，他们通过参与这种文化活动‘占用’文化工具。”（Driver <i>et al.</i> 1994, p. 7）	学生在学习新概念的时候需要教师的协助。
“（建构主义）建议在科学专业的学生和科研人员之间建立一种共性，因为他们都在努力弄清在各自的现实经验中混乱的意思。”（Taylor 1998, p. 1114）	当面对异常情况时，学生和科学家需要考虑调整自身的理解。
“从社会文化视角来说，我们将协商定义为相互适应的过程，在这个过程中，教师和学生不断地创造或借用彼此的成果。”（Cobb 1994, p. 14）	教师和学生能够交流意见。
“构成客观性的途径实质上是接纳各种各样的世界观，进而承认先验客观性的途径是合理的，因为虽然人们假装进行观察来验证先验客观性，然而在人类实践中完成这些观察仍旧是构成客观性的途径。”（Maheus <i>et al.</i> 2010, p. 218）	没有偏见的观察是不可能的。
“活动，或者说社会介导的动机并未实现。人类个体需要具体目标作为指引来实现这些活动，他们参与这些活动并作为活动的构成片段。”（Roth 2007, p. 165）	当人们具有强烈动机的时候，才会开始行动。

收集这类案例对学生来说是有效的练习，使他们在“日常”翻译中能够明确自己的收获得失⁶。确实，所有的翻译过程都会丢失一些内容，但这项任务是为了让学生了解交流上的收获是否大于损失。在专业词汇和理论术语上没有原则问题，自然科学中充满了这类词汇和术语，而且按照要求，学生需要学习这些词汇和术语。但是，虽然自然科学使用理论术语来简化复杂问题（例如很多不相干的运动可以统一解释为磁现象），但至少表 12.1 的案例中，社会科学使用假定的理论术语反而把简单问题复杂化，以致晦涩难懂。

上述案例和与之类似的写作引发了以赛亚·伯林（Isaiah Berlin, 1909—1997）的抱怨：

“对（最多仅是）一知半解的科学或哲学理论及名人使用做作的修辞，故意或强迫使用晦涩或模糊的表达，以形而上学的模式镶嵌一些无关的或被误导的典故，如提到一知半解的科学或哲学理论或著名的名字，是一种很古老、但却是当下特别普遍的、隐藏思维贫瘠与懵懂的方法，有时近乎成为一个危险的骗局。”

(Berlin 2000, p. 221)

适用于科学教育的哲学

如同人们需要一般化的教育哲学一样，人们也同样需要学科化的教育哲学，而且对科学教育而言，这类哲学依赖于HPS。一些学科问题是教授该学科的内在问题，我们也许可以称之为“适用于科学教学的哲学”。这其中包含了下列问题：有没有单一的科学方法？科学的范畴是什么？什么是科学解释？观察陈述是否能够从理论陈述中分离出来？实验结果是否会因为归纳、演绎或者溯源而受到验证假设的影响？有哪些合理和不合理的方法可以将理论从相反的证据中解救出来？其他学科问题是该学科的外部问题，也许可以称之为“关于科学教学的哲学”，这其中可能包含的问题有：科学作为学校必修课是否合理？科学的“思维习惯”或“科学素养”的特征有哪些？如何调和科学和宗教之间互相矛盾的观点？当地或本土知识是否应该取代正统科学，还是二者应该同时教授或完全不要教授？毫无疑问，其他学科——如数学、经济学、音乐、艺术和宗教教师也面临同样的问题。

教师对知识有自己的理论或认识论，这种理论来源于他们对科学的理解，并对其产生影响。教师会在课堂上传递他们的理解，而且会告知学生他们在教材选择、课程、备课、测评和其他教学法事宜上的决策。教师的认识论是他们“学科教学知识（pedagogical content knowledge, PCK）”的一个重要部分，李·舒尔曼（Lee Shulman）认为PCK对于高效教学来说是很重要的（Shulman 1986, 1987），这已经在第四章中探讨过。很久之后，即使学生已经忘记了在生物、化学和物理课堂上所学的细节，但教师的PCK仍然影响着他们对科学的理解。

关于HPS应该成为科学教师教育的一部分，长久以来都备受争议。

在英国，1918年《汤普森报告》(Thompson Report) 中曾提到“科学史和科学哲学的一些知识应该成为每位中学科学教师知识储备的组成成分”(Thompson 1918, p. 3)。这个由韦斯塔韦(Westaway)和霍姆亚德(Holmyard)提出的争论已在第三章中提及。1918年关于科学哲学在英国科学教师教育中的地位，有一篇综述说道：

“我们相信，倡导教师具有哲学化的背景能够帮助他们以一种更为明智和多样的方式来处理他们的科学教学，并且能够更有效地帮助学生建立对科学的连贯理解，这种理解合乎学生的年龄和能力，也是当下科学教育所缺乏的。”

(Manuel 1981, p. 771)

所有这些观点实际上都在拥护科学教育哲学这一学科。为了能够理解并有效教授科学，教师需要努力学习HPS。

在40年前的美国，对哲学和教育学领域都有深刻理解的伊斯雷尔·舍夫勒主张将科学哲学课程纳入科学教师培养计划中。这是他更广泛的主张“将哲学课程纳入教师培养的课程中”的一部分。他认为“除了学科能力、教学实践和教学方法，哲学体系是教师培养阶段非常有价值的额外输入”(Scheffler 1970, p. 40)。他将自己的论点总结如下：

“哲学体系对教育的重大贡献，我概括出以下四条：(1) 对学科教学中呈现出来的典型的思维方式的分析性描述；(2) 对这些思维形式的评价和批判；(3) 对特定教材进行分析，使之能够系统化，并以思维形式的案例进行展示；(4) 用新教师易于接受的术语进行特定范例的解释。”

(Scheffler 1970, p. 40)

这四条贡献的每一条都需要在相关学科目的历史和哲学研究基础上才能够实现⁷。

几年后，科学哲学家迈克尔·马丁(Michael Martin)在他的《科学教育的概念》(Martin 1972)一书中探讨并详细阐述了这些观点。马丁的书中融合了科学哲学，其参考文献包括阿加西(Agassi)、布里奇曼(Bridgman)、卡纳普(Carnap)、费耶阿本德(Feyerabend)、汉

森 (Hanson)、亨佩尔 (Hempel)、库恩、拉卡托斯 (Lakatos)、纳格尔 (Nagel)、波普尔 (Popper)、奎因 (Quine)、赖兴巴赫 (Reichenbach) 和舍夫勒的著作。马丁在五个章节中运用他们的插图、论证和分析来说明核心主题——科学探究、解释、定义、观察和科学教育目标。这些主题是所有科学课程和教学的组成部分,而且对见习教师而言,它们与教学法的相关性也很明显。不幸的是,舍夫勒、马丁和其他人的论证并未得到重视:科学教育家没有注意到科学史或科学哲学 (Duschl 1985),同样,教育哲学家也没有注意到。

虽然HPS术语没有得到广泛应用,但还是存在一些例外。30年前,李·舒尔曼和他的国家教师评价项目放弃了行为主义——一种在评估教师能力的实践中饱受推崇的管理策略。他探究了“消失的范式”、对学科知识的了解以及能够帮助学生理解的能力。对舒尔曼而言:

“教师不仅要能够向学生界定某一领域已经接受的事实,还必须能够在学科内外,从理论和实践两方面解释为什么一个特定的命题被认为是合理的,为什么它是值得了解的以及它与其他命题之间的关系。”

(Shulman 1986, p. 9)

这是他广泛认可的PCK概念中的核心元素,关于这部分内容已经在第四章中探讨过。但是,解释某一特定命题的合理性——例如关于基因遗传、能量守恒、钠的化合价、地球的形状等命题——要采用科学的认识论。这种认识论一方面包含经验论和非经验论的标准(如证据),该部分内容在本书中已有探讨;另一方面还包括对有关证据的考虑,这是因为人们对科学的了解大部分来自对他人证据的依赖。教师是证据链中一个负责任的连接⁸。对一些基本认识论问题进行过思考,并对科学史和科学社会学知识有所了解的教师比未接受过相关培训的教师能够更好地解释为什么一个命题是合理的。

英国也存在类似的情况。苏珊·莱金 (Susanne Lakin) 和杰里·韦林顿 (Jerry Wellington) 在研究英国科学教师对科学本质的理解时,观察到:

“本研究充分暴露了教师在科学本质和科学史知识方面的匱

乏……他们口头上承认自己的知识体系并不完整，思想观点也不够系统，当深入探查这一问题时，非语言的信号也反映出他们的不安全感。”

(Lakin & Wellington 1994, p. 186)

他们还指出，“这种反思的缺乏在科学文化、科学道德和科学哲学方面最为明显”。除非HPS研究在科学教师教育中成为常规部分，并且科学教育群体和HPS群体之间的鸿沟得以弥合，否则这种情形不大可能得到改善。在加拿大，加拿大科学委员会提倡科学课程增加对HPS的关注，并提到：“虽然委员会并不期望儿童或青少年能够得到科学哲学方面的培训，但我们期望科学教育者能够得到该领域的培训”（Science Council of Canada 1984, p. 37）。

教师教育的哲学状况

现今教师教育的哲学状况并不乐观。尽管所有的关注和争论早就广为人知，并且在本书中也有所记录，哲学能力——更确切地说是HPS能力在学校教育中十分缺乏，且其成果也得不到鼓励。1989年，澳大利亚55所提供科学教师培训的机构中只有四所开设了HPS相关课程。1990年，美国15所领军级科学教师培训中心中，大约只有一半要求开设科学哲学课程，其余的几百所中心这一比例则更低（Loving 1991）。该情形在世界其他地区也不容乐观。因此，很大程度上教师对HPS的了解是在他们自己的科学课中学习的，而且很少进行有意识的测验与提炼。这种潜移默化得来的认识论，对形成在教学实践中具有重要影响、对专业发展具有重要作用的事物来说，是无法令人满意的。

在科学教师教育中缺乏严谨的HPS培训是令人沮丧的，彼得·芬尚（Peter Fensham）的《定义一种身份：科学教育作为一个研究领域的演变》（Fensham 2004）一书很好地记录了这一现象。这本书为国际科学教师教育打开了具有代表性和权威性的窗口，引领了科学教育研究院校的风气。芬尚是过去40年间最受尊重和最具影响力的科学教育家之一（Cross 2003）。他的《定义一种身份》一书建立在他对16个国家79位领军科学教育者采访的基础之上，这些科学教育者包括至少16位美国科学教育研

究协会历任主席和主要国际科学教育研究期刊的10到15位现任或历任编辑。这些被访者撰写或编辑了数百本书籍和上千篇研究论文，并且培养了众多的博士研究生。因此，虽然这本书中提供的职业样本数量不多，然而它提供了一个包含科学教育学术界领军学者的样本，并为其外推到更为广泛的科学教育学术界提供了合理保障。芬尚要求被访者回答以下两个问题（Fensham 2004, p. xiv）：

- 在本领域中，你认为自己发表的最有意义的两个出版物是什么？
- 对你在该领域的研究最有影响的最多三本其他人的著作是什么？

把“科学教育作为研究领域”后，一个主要问题日益凸显，即该领域的研究者对于开展他们的研究准备不够充分。以一位最为典型的杰出受访者的话为例：

“十多年前当我开始教学时，我刚刚获得物理学硕士学位，但我对教育心理学或教育方法完全不了解。”

（Roth 1993, p. 145）

芬尚提到了杰伊·莱姆基（Jay Lemke），他是研究语言对科学学习影响的第一人（Fensham 2004, p. 201）。杰伊充分认识到这个问题，写道：

“科学教育研究者很少接受专业领域的正规培训，而社会文化观点和研究方法正是从培训中得来的。我们大多数是通过自学或从没有得到充分培训的其他人那里获得二手信息。”

（Lemke 2001, p. 303）

芬尚在很多场合都评论过，这一领域的开创性研究者要么是科学领域的研究人员，要么是学校的高级教师。对这两种研究者而言，心理学、社会学、历史或哲学这些学科的培训是被排除在外的，而这些学科对教育领域的大多数研究而言是必需的基础学科。他提到约瑟夫·施瓦布（Joseph Schwab）——“一位具有哲学背景的生物学家”——就是一个例外（Fensham 2004, p. 20）⁹。在这些开拓者中，像这样能说出名字的特殊存在并不多¹⁰。

这种准备不充分的情况并没有在第二代或年轻研究者中得到改善。实际上，情况可能更糟糕，因为只有比例极小的新一代科学教育研究者从事过此学科创立者包括芬尚在内所从事过的科学研究工作。这些采访

揭示了当前研究者所接受的教育模式绝大多数都是本科是科学学位，有过学校教学经历，随后获得科学教育博士学位。芬尚评论到：“在随后很多年中，很多国家都采用这种发展模式，从学校科学学科的教学到课程发展，再到高等科学教育”（Fensham 2004, p. 25）。

恩斯特·冯·格拉塞斯费尔德的影响

被访者中接受过哲学培训的很少，而且这类培训被曲解为建构主义。很多被访者提到恩斯特·冯·格拉塞斯费尔德（Ernst von Glasersfeld），认为他具有“最重要的影响”。芬尚提到：

“冯·格拉塞斯费尔德关于个人建构主义的很多作品都对科学教育研究者具有非常广泛的影响……在他们发表的研究成果中，格拉塞斯费尔德的作品常作为建构主义学习的通用资源被引用。”

（Fensham 2004, p. 5）

这在科学教育领域并不是意外。1990年，美国科学教育研究协会（NARST）邀请冯·格拉塞斯费尔德进行主题演讲，而且在1993年NARST又对他发出了同样的邀请，这种情况前所未有的。从1999年到2001年的三年内，有四份主要的科学教育期刊对他的研究工作进行了42次引用（Niaz *et al.* 2003, p. 791）。

仅仅从引用次数来看并不能充分说明冯·格拉塞斯费尔德的影响，为此，我们需要关注他对研究生和下一代准备“转变为”激进的建构主义教师的影响。一位杰出的被访者写道：

“根据激进建构主义的观点，我们永远生活在我们自己建构的世界中，对这个世界的描述永远离不开我们经验的框架。这种理解与‘有多少认识者就有多少世界’的观点是一致的。”

（Roth 1995, p. 13）

这个世界上有70亿人口，这等于说有70亿个不同的世界。这显然是无稽之谈，但这种观点仍然被提出并得以发表¹¹。这位被访者继续强调“激进建构主义迫使我们放弃知识和信仰之间的传统区别。只有在客观—现实主义的世界观下，这种区别才有意义”（Roth 1995, p. 14），另外他还补充到“通过这一（科学社会学）研究，我们逐渐意识到科学理性和解决

特殊问题的能力是一个神话”(Roth 1995, p. 31)。早期激进建构主义狂热者持有的这些类似的认识论和本体论观点,可以追溯到冯·格拉赛斯费尔德的哲学,并且最终可以追溯到贝克莱主教(Berkeley)(Matthews 2000, pp. 171—174)。从这些早期狂热者开始,理想主义和现实主义的信息就在科学教育界得到了迅速广泛的传播。

重要的是,冯·格拉赛斯费尔德承认自己在哲学领域缺乏相关的训练,并且称自己是这一领域的业余爱好者(von Glasersfeld 1995, p. 4)。他的哲学立场是简单的贝克莱主教的经验主义,并增添了一些皮亚杰的理论。他坦率地承认了这一点,并且提到贝克莱主教是他了解的第一位哲学家,以及“1710年是哲学史上最伟大的一年”,因为在这一年贝克莱的《人类知识原理》出版。在大学本科的哲学课程中,贝克莱的经验主义已经成为历史,他的知觉论、他对精神意象的重视、他的知识论和对牛顿科学学说的批判等也常常被提及并受到批判。如果科学教育研究者接受过这些本科哲学课程的学习,那他们可能不会如此认同冯·格拉赛斯费尔德对贝克莱主教建构主义的重述。对他们来说,冯·格拉赛斯费尔德的哲学毫无新意。

托马斯·库恩的影响

芬尚的被访者们提到了另一位对他们产生主要影响的哲学家托马斯·库恩(Thomas Kuhn)。然而同对待冯·格拉赛斯费尔德一样,科学教育界不加批判地全盘接受了库恩的观点:凯瑟琳·洛文(Cathleen Loving)和威廉·科本(William Cobern)对库恩影响力的总结是“科学教育界成了库恩的拉拉队”(Loving & Cobern 2000)¹²。诚然,库恩作品的引用量多于阅读量,但令人沮丧的是,引用库恩的作品便被认为是为哲学观点提供了论证或证据。一位被访者在其出版物中写道:

“近年来,西方科学的理性基础和自身对科学方法的永久信仰受到了质疑……寻找现实真相的概念是非常值得怀疑的。”

(Fleer 1999, p. 119)

除了一个未标明页码的参考外,库恩席卷科学教育群体的说法并没有证据。在教育界,对库恩观点的引用,甚至使用他的名字替代证据或论据

的做法十分普遍，仅仅“库恩”这个词语的功能就如同“哲学通行证”一样，同“圣经”、“教会”或是“党派”在其他圈子中的意义一样。

很多人并没有注意到，对库恩的范式概念、不可通约概念、理论依赖于观察、理论内部合理性概念的广泛的哲学批判已然消失了(Matthews 2004)。一个对库恩表示同情的评价如下：

“库恩对待哲学观点的方式既不系统也不严谨。他很少使用现代哲学家的惯用方式，也很少对其他哲学家观点的细节进行细心和精确的分析，而且即便他这么做了，结果也并不令人振奋。”

(Bird 2000, p. ix)

物理学家和哲学家阿布纳·西蒙尼(Abner Shimony)认为从科学实践获得方法论经验的库恩主义的关键是：

“无论最终结果是什么，在这一点上库恩的研究都应该受到谴责，因为他的研究在对待方法论的核心问题上简单粗暴、含糊不清，并且忽视细节——而这些细节对控制性分析而言是至关重要的。”

(Shimony 1976, p. 582)

同冯·格拉赛斯费尔德一样，库恩也承认自己是哲学领域的外来者，从没学过这方面的课程，他在其著作《科学革命的结构》中坦率地承认自己对待哲学问题的态度是“不负责任的”(Conant & Haugeland 2000, p. 305)。在回顾自己的成就时，他为自己在《科学革命的结构》中写下的“辞藻华丽的段落”感到后悔。这种忏悔实际上让他释放了自己的内心。遗憾的是，这些辞藻华丽的段落常常被科学教育界引用。当库恩为此感到后悔并试图关上这扇大门时，它们已经势不可挡地促成了数以千计的高学位、文章和书籍。而且这种影响不仅局限于学术界，例如，“库恩主义”的不同版本，尤其是公认的不可通约性和跨越范式的相对主义，常被用于呼吁支持多元文化科学教育领域的课程决策。按照推测，库恩明确了所有科学之间存在着平等的认识论，因而学校对西方科学的选择仅仅是一个政治问题。

“强纲领”的影响

冯·格拉赛斯费尔德和库恩对芬尚团体的影响只有在受到爱丁堡学

派“科学知识社会学派强纲领”(Strong Programme in the Sociology of Scientific Knowledge, SSK)的作用时才会加强,这一纲领的起源要归功于托马斯·库恩。芬尚提到“一本具有突出影响的关于科学文化的书是拉图尔(Latour)和伍尔加(Woolgar)合著的《实验室生活》(Fensham 2004, p. 58)。这本书是SSK运动极端理想主义的翅膀。它是人类学研究对THR(促甲状腺激素释放激素)实验室研究的尝试,其中一位作者拉图尔惊人地认为他完全不懂科学是有利的。这本书认为所有的科学都是在“编造小说”,而科学的成功不过是一群人——在本案例中,是指诺贝尔奖得主沙利(Schally)和吉耶曼(Guillemin)——从其他科学家处“获取认同”的能力(Latour & Woolgar 1979/1986, p. 285)。他们做出了彻底的理想主义主张,即只有接受特定的生物检测,THR才能够存在。仅仅陈述这些就足以拉响哲学的警钟,他们关于THR的主张是荒谬的。对生物检测结果的认可与否也许能够成为是否相信THR的基础,但几乎不可能成为其是否存在的基础。

然而,SSK纲领的拥护者对更为巨大的物体——例如行星也发表了同样的主张,行星只有在被发现之后才能确定其存在。这是理想主义最纯粹的形式:假定这个世界的存在依赖于人类的思维(然而我们没有被告知在多大程度上依赖于动物思维,世界的数量是否与具有经验的动物的数量一样多也不得而知)。当芬尚的另一位被访者写下下面这番话时,可见SSK理想主义是很明显的:

“对建构主义者来说,观察、物体、事件、数据、规律和理论不是独立于观察者而存在的。自然现象合理的和特定的性质是其描述者的性质,而不是被描述的自然本身的性质。”

(Staver 1998, p. 503)

显然,观察、数据和理论不可能独立于人类而存在,声称物体、事件和合理的行为也依赖于人类的主张是纯粹且毫无根据的理想主义,这也是克努特大帝(King Canute)向他的臣民展示的东西。即便是离开人类不能独立存在的社会机构,例如婚姻机构或军队,也不会因为社会学家如何看待和描述它们而存在或消失。但冯·格拉赛斯费尔德、库恩和爱丁堡大学学派一系列稳定的研究结果不断涌现,导致这些主张未经核查和检验就进入科学教育研究文献和研究生课堂中。

拉图尔、伍尔加和那些深受他们影响的人坚信，伽利略（Galileo）、牛顿、达尔文（Darwin）、爱因斯坦（Einstein）和对科学传统做出贡献的人虽然没有揭示甚至不曾接近世界的真相，但他们揭示了如何在科学上获得成功，而这种成功并不是因为科学主张和世界之间的契合，大自然的贡献可以忽略不计。他们认为在沙利和吉耶曼的实验室中——甚至在所有科学实验室中——“在这些神圣殿堂中没有非凡的以及‘不科学’的事情发生”（Latour & Woolgar 1979/1986, p. 141）。哲学家彼得·斯莱扎克（Peter Slezak）针对《实验室生活》和该书的自以为是写了一篇详细的且极具讽刺意味的长篇评论。他评价这本书“在很多方面……完全语无伦次且难以理解”（Slezak 1994, p. 335）。社会学家斯蒂芬·科尔（Stephen Cole）说：“在所有构建主义文献中，没有一个例子支持这种（拉图尔和伍尔加的）科学观点”（Cole 1996, p. 278）。其他很多哲学家、社会学家和历史学家也都认同这一观点¹³。即便是托马斯·库恩，在1991年罗斯柴尔德（Rothchild）的演讲也开始发生转变，他对SSK纲领做了如下发言：

“同很多人一样，我也认为强纲领的主张是荒唐的：它是一个解构主义走向疯狂的例子。我认为，现在越来越多更为合格的社会学和历史学构想试图取代强纲领，这一点是十分令人满意的。”

（Conant & Haugeland 2000, p. 110）

尽管如此，2004年，认同芬尚的79位关键性国际科学教育工作者中，有很多人认为《实验室生活》是一个“重大的影响”。实际上，直到2007年在美国国家研究委员会（NRC）的报告《将科学带入学校》中，仍不加批判地引用了拉图尔的观点，报告中，拉图尔的工作是呼吁支持“科学实践观点”（NRC 2007, p. 29）。上述阿布纳·西蒙尼对库恩的评价正好说明了以下观点：包括科学在内的绝大多数人类活动都是实践，虽然听上去很深奥，但却未被经常提及。足球和政治都是具有各自成功标准的实践，社会学家能够研究如何取得这类成功。然而科学是一类完全不同的实践，但这一点还未被意识到。关键的问题是：这种实践是在寻求真理吗？成功的标志是什么？或优于寻求真理的实践的实践标志是什么？拉图尔针对这些问题给出了很多答案，然而这些答案都是错

误的。

拉图尔和SSK纲领忽略了真相、合理性、依据以及所有能够解释某一理论成功原因的认识论因素，而后者完全是一种影响、顺从与政治规律。第一种解释要求社会学家了解一些科学以及科学哲学的相关内容，至少了解一些理论的评估。缺少这些知识，能够检测的就只是后者的因素，自然倾向则声称这些内容是重要的或唯一的。如果一位观察者稍微了解数学并且发现一组学生都认为“ $2+2=5$ ”，那么他将意识到需要对此做出解释。如果没有数学知识，那么就不存在错误也不需要解释。正如拉图尔骄傲地承认，缺少科学知识的社会学家也是如此。

心理学理论

暂且将哲学放在一旁，关于科学教育研究中缺乏严谨的准备工作这一点，可以由这一领域中浅显的心理学理论应用加以证实。芬尚意识到了这一点，他说：“科学教育者借用学习的心理学理论……例如布鲁纳（Bruner）、加涅（Gagne）和皮亚杰（Piaget）的理论”（Fensham 2004, p. 105）。他谴责道：“这些借来的理论的影响被美化为从这些理论中提炼出口号式的观点”（Fensham 2004, p. 105）。正是因为在本科心理学方面缺乏全面的培训，导致研究者依赖于理论的口号式解释。在某个学科进行三年或四年的艰苦学习，通常能够将学生从对口号的依赖中解放出来，但是正如芬尚明确证实的那样，在科学教育研究领域很少有研究者在基础学科中完成这项艰苦的学习。

杰罗姆·布鲁纳（Jerome Bruner）为教育者根据他发现式学习理论提出的口号式解释感到痛惜。在第四章中已经提到，最近相同的情况出现在一篇题为《科学概念的调整：概念转变理论的形成》（Posner *et al.* 1982）的文章中，该文章被多次引用，其作者之一便是芬尚的一位被访者。该文章发表十年后，其中两位共同作者继续出版了《概念转变理论的修正主义》（Strike & Posner 1992），在这篇文章中，他们指出原来的文章意在说明理性的概念转变，它不是概念转变的心理学理论，更不是课堂教学的教学法模板：

“这个理论很大程度上是一个认识论理论，而不是心理学理论。由此可见，它也是一个规范性的理论，植根于能够被视为是好理由

(good reason) 的事物的概念中。”

(Strike & Posner 1992, p. 150)

他们随后推测了对原始文献产生误解的原因:

“也许是因为‘建构主义’的认识论已经忘记了知识的社会性,并且假定人们毫不理解那些不是自己建构的概念。”

(Strike & Posner 1992, p. 170)

这篇被多次引用的原始文献的核心是“好理由”这一概念。从柏拉图开始,这就是认识论历史的一个主题,而且这段历史能够帮助教育者更深入地理解原始文献,除非这样的历史形态并不构成科学教育研究者准备工作的一部分。尝试从原因、理由、好理由以及信仰的依据之间的差异彻底思考是一种有益的练习,而且这也能够成为所有正规的教师培训的一部分。

科学教育是自主学科吗?

芬尚对他的书进行了总结,认识到:科学教育研究已经成熟,至少在某些领域“获得了身份”(Fensham 2004, p. 209)。这一认识尚有争议,它很大程度上取决于“获得身份”意味着什么。该领域的一个基本问题是:科学教育作为一个研究领域是自主的、衍生的还是介于二者之间的。这是对一个50年前争论过的更大的议题“本土化”的表述——教育本身是否是一个自主学科,或者说教育是否受到哲学、心理学、社会学、历史 and 经济学组成部分的制约¹⁴。教育覆盖了广泛的领域及活动,包括学校教育、学习、教学、资金、课程、政府等等。能否对上述每一个领域进行教育分析是值得怀疑的,然而,教育社会学、教育史、教育心理学、教育哲学、教育经济学等学科仍旧存在。

在芬尚的书出版的前两年,一个由13位国际科学教育者组成的团队支持教育学科的自主地位,他们说道:

“在科学领域中,科学教育的出现通常与诺瓦克(Novak)所说的‘紧急共识’的建立相关联,建构主义观点被认为是科学教育在过去十年中最重要的贡献……有必要建立特定的科学教育知识体系。”

(Gil-Pérez *et al.* 2002, pp. 558, 562)

这些作者并没有“打算忽略来自教育心理和科学史等其他领域的贡献”(Gil-Pérez *et al.* 2002, p. 560),但他们认为这些领域的争论,包括建构主义的哲学批判“并不是我们的争论”。这个自主地位是科学教育默认的地位:学术会议的参与者主要是科学教育者;学术期刊主要刊登科学教育者审阅过的科学教育文章;研究生课程几乎全部被科学教育课程占据。这种自主地位很容易转变为孤立主义,并且过度专业化。斯蒂芬·沙宾对后者进行了观察:

“过度专业化学科的标志之一是它们自我参考的。这些学科将专业文献与文献中意图引证的事物混为一谈,将文献的引用等同于学习……人们可以通过以下标准判断一门学科是否是自我参考的:除了那些必须要读的人之外,几乎没人愿意阅读这个学科的作品。”

(Shapin 2005, p. 239)

本书的论点是:如果缺乏对基础学科的学习,那么科学教育的这种自主性或对“身份”的追求将对所有当事方造成损害。孤立主义是不幸的,因为它是不现实的。科学教育的探讨、辩论、教学和研究涉及很多问题,如:儿童如何学习?我们对儿童思维成熟的过程了解些什么,以及这一过程会对他们的学习产生什么样的影响?科学课程的内容和国家标准应该由什么来确定?过去的课程是什么,以及它为什么会发生改变?教师教授的学科本质是什么?科学的本质是什么?促进科学教学的基本原理是什么?对本土传统知识的了解程度如何?科学作为必修课程应到哪个级别?科学需要一个自由民主的国家吗?等等。

如果教师不关注哲学、心理学、历史、社会学,甚至经济学和政治这些基础学科,那么上述问题就很难回答,甚至无法理智地对待这些问题。相反,当上述基础学科被忽视或是不加批判、口号式地使用时,那么科学教育的整体性将被削弱。芬尚在采访中很好地捕捉到了这个专业困境,即一旦成为科学教育者,他们就必须处理、回答并教授上述他们并没有接受过培训的问题。在整个学校教育规划中,他们需要在没有学习过心理学的情况下教授儿童如何学习;在没有学习过科学史或科学哲学的情况下教授科学的本质或评论科学和宗教议题;在没有学习过教育哲学的情况下阐述科学教育的基本原理;在没有学习过历史的情况下负

责课程的改革；在没有学习过哲学的情况下评价建构主义的哲学主张；等等。

处理这些困境的第一步是承认问题的存在，然后对每一个议题的主张持谨慎态度，最后尽自己所能去掌握相关基础学科的知识 and 文献。

科学教育的学术领域不可能是完全衍生的，在科学教育领域中有真正的理论问题、课程问题和教学法问题，且这些问题都是该领域独有的，需要由基础学科进行阐述。为了达成这些目的需要发展的是“关于科学教育的哲学”。如同在本章前面探讨的一样，其开端在于形成教育哲学观，同时结合对 HPS 知识的掌握和理解。这个可以被理解为“科学教育的哲学”，这无疑是很重要的一个方面，也是本书期望能够做出贡献的一个方面¹⁵。

采取以下步骤可促使科学教育成为一门学科：

1. 为培养未来的研究者做准备，在科学教师获取科学领域的第一学位后，首先应该鼓励他们选择一个合适的基础学科（哲学、心理学、历史等）攻读学士学位，然后再攻读教育学博士学位，而不是直接攻读教育学的更高的学位。这样有益于他们个人的成长或个人教育，而且对他们将来可能参与的研究项目有益。

2. 在科学教育研究生课程中应当加入适当的大学本科或是研究生基础课程。

3. 科学教育博士学位委员会中应包含来自基础学科的老师。有心理学、哲学、历史或语言学教授参与的论文评审委员会，将有助于督促博士生和导师认识到基础学科的古今文化对学生研究的重要影响。

4. 减轻新入职教师发表论文的压力，以便弥补在他们的培养过程中对基础学科阅读和学术方面的忽视。这就要求相关机构在评价新成员的文献产量时注重质量而不是数量，同时也能给新员工更长的时间做出相应的贡献。这些机构应该意识到，一篇内容充实长期保质的文章对该领域的贡献比十篇浅显的、错误百出的、浪费版面的二流文章贡献更大。对于新入职的科学教育工作者来说，花一个学期的时间学习哲学、心理学、语言学或是历史学课程，阅读内容充实的书籍比开展一项概念错误的研究，或是转录一些没有控制组也没有合适理论指导的课堂干预录像来说是更好的选择。能够出色地完成一些重要事情，比蹩脚地完成很多

无关紧要的事情要好很多。

5. 鼓励建立教育和基础学科间的联合委任机制。令人感到鼓舞的是，这已经在教育学和科学两个学科之间小范围的发生了。如果其他教师能够交叉委任到哲学、HPS、心理学或是社会学中，毫无疑问能够提升该领域的学术成就和研究水平。哲学和科学学科之间的交叉委任模式堪称典范。

为了培养科学教师，本书的观点是：无论已经做了哪些努力，将教育相关的HPS课程或HPS相关的教育课程纳入培养体系是必要的。理想的情况是，这意味着创设一门特殊的课程，该课程能够在科学教学中纳入切实的理论、课程和教学法主题，由此教师能够识别和认识他们在教学中出现的真正问题，进而可以阐述为更好地理解 and 解决这些议题HPS是如何做出贡献的¹⁶。图12.1是罗兰·舒尔茨（Roland Schulz）（2014b）信息比较图的详细阐述，它包含了前面讨论过的培养有准备的科学教师的必须要素：

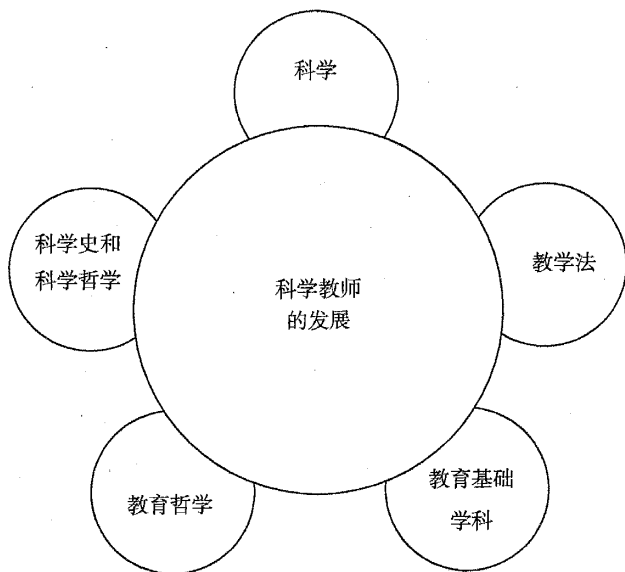


图 12.1 科学教师的发展

- 科学：本科或研究生的科学学位等；
- 科学史和科学哲学：内在的基于课程的HPS和外在的教育相关的HPS研究等；
- 教学法：实践教学、教育技术、教学理论、地方课程、测评理论和实践、行政管理、特殊教育等；
- 教育哲学：教育的目的、教育的个人和社会目标、课堂教学和师生互

动的道德标准以及学校系统教与学的概念分析等；

- 教育基础学科：教育社会学、科学教育史、心理学和认知科学、发展心理学、课程理论等。

结论

HPS研究应当成为职前和在职科学教师教育培训的一部分有很多理由，越来越多的学校科学课程强调由科学引发的历史、哲学、道德和文化问题，这些课程的任课教师显然需要HPS知识。缺乏这类知识，他们呈现的要么是删减的、片面的课程，要么是重复关于该主题浅显的学术标语（彼得·芬尚称之为“口号”）。而这两种方式都会对学生造成伤害。即便不包含“科学本质”的课程，HPS也能够使课程内容更为有趣，使教学方式更具批判性。

在教师教育中，支持HPS除了这些“实践性”理由，还有一些引人注目“专业性”理由。教师知道的知识应该比需要教授的知识更多。作为教育工作者，他们需要掌握他们教授的知识体系，知道知识是如何产生的，观点是如何论证的，存在什么局限，更重要的是，科学为提高人类的理解力和改善人类的生活带来的优势和贡献是什么。教师应该能够鉴别和重视探究传统，这也是他们鼓励学生去探索的，正是HPS所培养的。

HPS的很多议题是复杂且具有争议的，这在本书中已经说过很多次了。在重要的问题上，人们的看法仍莫衷一是。教师的“艺术”是能够洞悉学生的能力，并为学生呈现一幅可理解的科学画面，而不是压制学生。在面对未知难题之前，学生需要理清思绪，熟悉惯例。教师本身也许在各种HPS议题上有强烈的个人观点，但是教育的要点是开发学生的思维，这就意味着应当给予学生必要的知识和手段去形成自己的观点。如果HPS成为科学教学的问答书，那么它的一个重要目的就会落空。在教师培训中，HPS能够拓宽教师的视野，让他们的学生不仅能达成目的（科学能力），而且能在实现目的的过程中从不同角度发出，拥有更为广阔的视野。从长远来看，这有利于科学、社会和文化的繁荣。

教育系统有鉴别和传播我们文化遗产中的精髓的责任。科学是文化遗产中的重中之重，也是现今人类遗产的一部分。HPS能够帮助科学教

师和科学教育研究者更好地理解自己的社会责任和专业责任是“伟大传统的一部分”，因此要在教师教育和研究生课程中培养教师的能力，以及教师对HPS的兴趣。

丨 注释 丨

1. 本章内容在一定程度上依赖于Matthews(2014)发表的材料。
2. 参见Labaree(2008)和Cochran-Smith *et al.*(2008)以及Roth(1999)的文献。
3. 关于基础研究在教师教育中的地位争论，在Tozer *et al.*(1990)和Waks(2008)的文章中能找到。
4. 教育哲学和科学教育哲学的详细调查，参见Schulz(2014a, 2014b)。
5. 对于后现代主义在当前科学教育中的解释，见Mackenzie *et al.*(2014)。对文化研究和科学教育的解释，见McCarthy(2014)。
6. 这个议题的其他一些例子和讨论见Slezak(2014)。
7. 对舍夫勒关于科学教学所做论证的详述和评价，见Matthews(1997a)；更为广泛的评价见Siegel(1997)的文章。
8. 证明人类事务和科学的现代基础工作，参见Coady(1992)。
9. 施瓦布的一生和成就见Deboer(2014)。
10. 詹姆斯·罗宾逊(James Robinson)是其中之一(Robinson 1968, 1969)。关于他的一生和工作，见Matthews(1997b)。
11. 当这类论断被质疑时，“我写的并不是我的本意”是必然反应。这意味着人们需要更加谨慎地写文章。这类常见策略的例子参见Shackel(2005)。
12. 洛文和科本列出了从1985年到1997年13年间在《科学教学和科学教育》期刊上发表的引用了库恩和库恩主义主题的30篇文章。
13. 对拉图尔和SSK的批判，见哲学家Mario Bunge(1991, 1992)、Susan Haack(1996)和Nicholas Shackel(2005)以及社会学家Stephen Cole(1992, 1996)和历史学家Margaret Jacob(1998)的著作。
14. 参见Scheffler(1963a)和Tibble(1966)的文章。
15. 此外，罗兰·舒尔茨(Roland Schulz)认为该领域需要的是科学教育的哲学(Schulz 2009, 2014a, 2014b)。
16. 这类HPS和NOS课程在教师教育中的细节，参见Matthews(1990)、McComas(1998)、Rosa和Martins(2009)、Schulz(2014b)以及Sullenger和Turner(1998)。

丨 参考文献 丨

- Berlin, I.: 2000, *The Power of Ideas*, H. Hardy (ed.), Chatto & Windus, London.
- Bird, A.: 2000, *Thomas Kuhn*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Bruner, J.S.: 1974, 'Some Elements of Discovery'. In his *Relevance of Education*, Penguin, Harmondsworth, UK, pp. 84-97. Originally published in L. Shulman and E. Keislar (eds) *Learning by Discovery*, Rand McNally, Chicago, IL, 1966.
- Bunge, M.: 1991, 'A Critical Examination of the New Sociology of Science: Part 1', *Philosophy of the Social*

- Sciences 21(4), 524-560.
- Bunge, M.: 1992, 'A Critical Examination of the New Sociology of Science: Part 2', *Philosophy of the Social Sciences* 22(1), 46-76.
- Coady, C.A.J.: 1992, *Testimony: A Philosophical Study*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Cobb, P.: 1994, 'Where is the Mind? Constructivist and Sociocultural Perspectives on Mathematical Development', *Educational Researcher* 23(7), 13-20.
- Cochran-Smith, M., Feiman-Nemser, S. and McIntyre, D.J. (eds): 2008, *Handbook of Research on Teacher Education* (3rd edn), Routledge/Taylor & Francis, New York.
- Cole, S.: 1992, *Making Science: Between Nature and Society*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Cole, S.: 1996, 'Voodoo Sociology: Recent Developments in the Sociology of Science'. In P.R. Gross, N. Levitt and M.W. Lewis (eds) *The Flight from Science and Reason*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, pp. 274-287.
- Conant, J. and Haugeland, J.: 2000, *The Road Since Structure: Thomas S. Kuhn*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Cross, R.T. (ed.): 2003, *A Vision for Science Education: Responding to the Work of Peter Fensham*, RoutledgeFalmer, London.
- Curren, R. (ed.): 2003, *A Companion to the Philosophy of Education*, Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Darling-Hammond, L.: 1999, 'The Case for University-Based Teacher Education'. In R. Roth (ed.) *The Role of the University in the Preparation of Teachers*, Routledge/Falmer, New York, pp. 13-30.
- Dearden, R.F., Hirst, P.H. and Peters, R.S. (eds): 1972, *Education and the Development of Reason*, 3 volumes, Routledge & Kegan Paul, London.
- DeBoer, G.E.: 2014, 'Joseph Schwab: His Work and His Legacy'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 2433-2458.
- Dennett, D.C.: 2006, *Breaking the Spell: Religion as a Natural Phenomenon*, Penguin, New York.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. and Woods-Robinson, V.: 1994, *Making Sense of Secondary Science*, Routledge, London.
- Duschl, R.A.: 1985, 'Science Education and Philosophy of Science, Twenty-five Years of Mutually Exclusive Development', *School Science and Mathematics* 87(7), 541-555.
- Fensham, P.J.: 2004, *Defining an Identity: The Evolution of Science Education as a Field of Research*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Fleer, M.: 1999, 'Children's Alternative Views: Alternative to What?', *International Journal of Science Education* 21(2), 119-135.
- Fraser, J.W.: 1992, 'Preparing Teachers for Democratic Schools: The Holmes and Carnegie Reports Five Years Later - A Critical Reflection', *Teachers College Record* 94(1), 7-40.
- Gil-Pérez, D. et al.: 2002, 'Defending Constructivism in Science Education', *Science & Education* 11(6), 557-571.
- Haack, S.: 1996, 'Towards a Sober Sociology of Science'. In P.R. Gross, N. Levitt and M.W. Lewis (eds) *The Flight from Science and Reason*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, pp. 259-265.
- Hirst, P.H.: 2008, 'Philosophy of Education in the UK. The Institutional Context'. In L.J. Waks (ed.) *Leaders in Philosophy of Education. Intellectual Self-Portraits*, Sense Publishers, Rotterdam, The Netherlands, pp. 305-310.
- Jacob, M.C.: 1998, 'Reflections on Bruno Latour's Version of the Seventeenth Century'. In N. Koertge (ed.) *A House Built on Sand: Exposing Postmodernist Myths About Science*, Oxford University Press, New York, pp. 240-254.
- Kuhn, T.S.: 1962/1970, *The Structure of Scientific Revolutions*, 2nd edn, Chicago University Press, Chicago, IL (1st

- edition, 1962).
- Labaree, D.F.: 2008, 'An Uneasy Relationship: The History of Teacher Education in the University'. In M. Cochran-Smith, S. Feiman-Nemser and D.J. McIntyre (eds) *Handbook of Research on Teacher Education*, Routledge, New York, pp. 290-306.
- Lakin, S. and Wellington, J.: 1994, 'Who will Teach the "Nature of Science"?: Teachers' Views of Science and Their Implications for Science Education', *International Journal of Science Education* 16(2), 175-190.
- Latour, B. and Woolgar, S.: 1979/1986, *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*, 2nd edn, SAGE, London.
- Lemke, J.L.: 2001, 'Articulating Communities: Sociocultural Perspectives on Science Education', *Journal of Research in Science Teaching* 38(3), 296-316.
- Loving, C.C. and Cobern, W.A.: 2000, 'Invoking Thomas Kuhn: What Citation Analysis Reveals for Science Education', *Science & Education* 9(1-2), 187-206.
- Loving, C.C.: 1991, 'The Scientific Theory Profile: A Philosophy of Science Model for Science Teachers', *Journal of Research in Science Teaching* 28(9), 823-838.
- Mackenzie, J., Good, R. and Brown, J.R.: 2014, 'Postmodernism and Science Education: An Appraisal'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1057-1086.
- Maheus, J.-F., Roth, W.-M. and Thom, J.: 2010, 'Looking at the Observer Challenges to the Study of Conceptions and Conceptual Change'. In W.-M. Roth (ed.) *Re/Structuring Science Education: ReUniting Sociological and Psychological Perspectives*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 201-219.
- Manuel, D.E.: 1981 'Reflections on the Role of History and Philosophy of Science in School Science Education', *School Science Review* 62(221), 769-771.
- Martin, M.: 1972, *Concepts of Science Education: A Philosophical Analysis*, Scott, Foresman, New York (Reprinted by University Press of America, 1985).
- Matthews, M.R.: 1990, 'History, Philosophy and Science Teaching: What Can Be Done in an Undergraduate Course?' *Studies in Philosophy and Education* 10(1), 93-97.
- Matthews, M.R.: 1997a, 'Scheffler Revisited on the Role of History and Philosophy of Science in Science Teacher Education', *Studies in Philosophy and Education* 17(1-2), 159-173.
- Matthews, M.R.: 1997b, 'James T. Robinson's Account of Philosophy of Science and Science Teaching: Some Lessons for Today From the 1960s', *Science Education* 81(3), 295-315.
- Matthews, M.R.: 2000, 'Appraising Constructivism in Science and Mathematics Education'. In D.C. Phillips (ed.) *National Society for the Study of Education 99th Yearbook*, National Society for the Study of Education, Chicago, IL, pp. 161-192.
- Matthews, M.R.: 2004, 'Thomas Kuhn and Science Education: What Lessons Can Be Learnt?' *Science Education* 88(1), 90-118.
- Matthews, M.R.: 2014, 'Discipline-based Philosophy of Education and Classroom Teaching', *Theory and Research in Education* 12(1), 98-108.
- McCarthy, C.L.: 2014 'Cultural Studies in Science Education: Philosophical Considerations'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1927-1964.
- McComas, W.F.: 1998, 'A Thematic Introduction to the Nature of Science: The Rationale and Content of a Course for Science Educators'. In W.F. McComas (ed.) *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 211-222.
- Niaz, M., Abd-el-Khalick, F., Benarroch, A., Cardellini, L., Laburú, E., Marín, N., Montes, L.A., Nola, R., Orlik, Y., Scharmann, L.C., Tsai, C.-C. and Tsapalis, G.: 2003, 'Constructivism: Defense or a Continual Critical Appraisal - A Response to Gil-Pérez et al.', *Science & Education* 12(8), 787-797.

- Nidditch, P.H.: 1973, 'Philosophy of Education and the Place of Science in the Curriculum'. In G. Langford and D.J. O'Connor (eds) *New Essays in the Philosophy of Education*, Routledge & Kegan Paul, London, pp. 234-258.
- NRC (National Research Council): 2007, *Taking Science to School. Learning and Teaching Science in Grades K-8*, National Academies Press, Washington, DC.
- Peters, R.S.: 1959, *Authority, Responsibility and Education*, George, Allen & Unwin, London.
- Peters, R.S.: 1966, *Ethics and Education*, George Allen & Unwin, London.
- Peters, R.S. (ed.): 1967, *The Concept of Education*, Routledge & Kegan Paul, London.
- Peters, R.S. (ed.): 1973, *The Philosophy of Education*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Peters, R.S.: 1974, *Psychology and Ethical Development*, George Allen & Unwin, London.
- Phillips, D.C.: 1981, 'Conceptual Change: Muddying the Conceptual Waters - Research on Conceptual Change', *Philosophy of Education*, 60-72.
- Phillips, D.C.: 2000, 'An Opinionated Account of the Constructivist Landscape'. In D.C. Phillips (ed.) *Constructivism in Education*, National Society for the Study of Education, Chicago, IL, pp. 1-16.
- Pickering, A.: 1995, *The Mangle of Practice: Time, Agency and Science*, University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. and Gertzog, W.A.: 1982, 'Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change', *Science Education* 66(2), 211-227.
- Robinson, J.T.: 1968, *The Nature of Science and Science Teaching*, Wadsworth, Belmont, CA.
- Robinson, J.T.: 1969, 'Philosophical and Historical Bases of Science Teaching', *Review of Educational Research* 39, 459-471.
- Rosa, K. and Martins, M.C.: 2009, 'Approaches and Methodologies for a Course on History and Epistemology of Physics: Analyzing the Experience of a Brazilian University', *Science & Education* 18(1), 149-155.
- Roth, M.-W.: 1993, 'Construction Sites: Science Labs and Classrooms'. In K. Tobin (ed.) *The Practice of Constructivism in Science Education*, AAAS Press, Washington, DC, pp. 145-170.
- Roth, M.-W.: 1995, *Authentic School Science: Knowing and Learning in Open-Inquiry Science Laboratories*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Roth, R. (ed.): 1999, *The Role of the University in the Preparation of Teachers*, Routledge/Falmer, New York.
- Roth, W.-M.: 2007, 'Identity in Scientific Literacy: Emotional-Volitional and Ethico-Moral Dimensions'. In W.-M. Roth and K. Tobin (eds) *Science, Learning, Identity. Sociocultural and Cultural-Historical Perspectives*, Sense Publishers, Rotterdam, The Netherlands, pp. 153-184.
- Roth, W.-M.: 2011, *Passibility: At the Limits of the Constructivist Metaphor*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Roth, W.-M. and Tobin, K.: 2007, 'Introduction: Gendered Identities'. In W.-M. Roth and K. Tobin (eds) *Science, Learning, Identity. Sociocultural and Cultural-Historical Perspectives*, Sense Publishers, Rotterdam, The Netherlands, pp. 99-102.
- Saha, L.J. and Dworkin, A.G. (eds): 2009, *International Handbook of Research on Teachers and Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Scheffler, I.: 1963a, 'Is Education a Discipline?' In his *Reason and Teaching*, Routledge, London, 1973, pp. 45-57.
- Scheffler, I.: 1963b, *The Anatomy of Inquiry*, Bobbs-Merrill, Indianapolis, IN.
- Scheffler, I.: 1966/1982, *Science and Subjectivity*, 2nd edn, Hackett, Indianapolis, IN (1st edition, 1966).
- Scheffler, I.: 1970, 'Philosophy and the Curriculum'. In his *Reason and Teaching*, London, Routledge, 1973, pp. 31-44. Reprinted in *Science & Education* 1(4), 385-394.
- Scheffler, I.: 1973, *Reason and Teaching*, Bobbs-Merrill, Indianapolis, IN.
- Schulz, R.M.: 2009, 'Reforming Science Education: Part I. The Search for a Philosophy of Science Education', *Science & Education* 18(3-4), 225-249.
- Schulz, R.M.: 2014a, 'Philosophy of Education and Science Education: A Vital but Underdeveloped Relationship'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science*

- Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1259-1315.
- Schulz, R.M.: 2014b, *Rethinking Science Education: Philosophical Perspectives*, Information Age Publishing, Charlotte, NC.
- Science Council of Canada (SCC): 1984, *Science for Every Student: Educating Canadians for Tomorrow's World*, Report 36, SCC, Ottawa, Canada.
- Sears, J.T.: 2003, 'From Margin to Centre: On the "Other" Side of the Curriculum Renaissance', *Curriculum Inquiry* 33(4), 427-439.
- Shapin, S.: 2005, 'Hyper-professionalism and the Crisis of Readership in the History of Science', *Isis* 96(2), 238-243.
- Shackel, N.: 2005, 'The Vacuity of Postmodernist Methodology', *Metaphilosophy* 36(3), 295-320.
- Shimony, A.: 1976, 'Comments on Two Epistemological Theses of Thomas Kuhn'. In R.S. Cohen, P.K. Feyerabend and M.W. Wartofsky (eds) *Essays in Memory of Imre Lakatos*, Reidel, Dordrecht, The Netherlands, pp. 569-588.
- Shulman, L.S.: 1986, 'Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching', *Educational Researcher* 15(2), 4-14.
- Shulman, L.S.: 1987, 'Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform', *Harvard Educational Review* 57(1), 1-22.
- Siegel, H.: 1978, 'Kuhn and Schwab on Science Texts and the Goals of Science Education', *Educational Theory* 28, 302-309.
- Siegel, H.: 1979, 'On the Distortion of the History of Science in Science Education', *Science Education* 63, 111-118.
- Siegel, H.: 1989, 'The Rationality of Science, Critical Thinking, and Science Education', *Synthese* 80(1), 9-42. Reprinted in M.R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto and Teachers College Press, New York, 1991.
- Siegel, H.: 1993, 'Naturalized Philosophy of Science and Natural Science Education', *Science & Education* 2(1), 57-68.
- Siegel, H. (ed.): 1997, *Reason and Education: Essays in Honor of Israel Scheffler*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Siegel, H. (ed.): 2009, *The Oxford Handbook of Philosophy of Education*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Silberman, C.E.: 1970, *Crisis in the Classroom: The Remaking of American Education*, Random House, New York.
- Slezak, P.: 1994, 'Sociology of Science and Science Education. Part 11: Laboratory Life Under the Microscope', *Science & Education* 3(4), 329-356.
- Slezak, P.: 2014, 'Constructivism in Science Education'. In M.R. Matthews (ed.) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1023-1055.
- Sprat, T.: 1667/1966, *The History of the Royal Society of London for the Improving of Natural Knowledge*, I.C. Jackson and H.W. Jones (eds), Routledge & Kegan Paul, London.
- Staver, J.: 1998, 'Constructivism: Sound Theory for Explicating the Practice of Science and Science Teaching', *Journal of Research in Science Teaching* 35(5), 501-520.
- Steinberg, S.R. and Kincheloe, J.: 2012, 'Employing the Bricolage as Critical Research in Science Education'. In B. Fraser, K. Tobin and C. McRobbie (eds) *International Handbook of Science Education*, 2nd edn, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1485-1500.
- Stenhouse, D.: 1985, *Active Philosophy in Education and Science*, Allen & Unwin, London.
- Strike, K.A. and Posner, G.J.: 1992, 'A Revisionist Theory of Conceptual Change'. In R. Duschl and R. Hamilton (eds) *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice*, State University of New York Press, Albany, pp. 147-176.
- Sullenger, K. and Turner, S.: 1998, 'Nature of Science: Implications for Education: An Undergraduate Course for Prospective Teachers'. In W.F. McComas (ed.) *The Nature of Science in Science Education: Rationales and*

- Strategies*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 243-253.
- Taylor, P.C.S.: 1998, 'Constructivism: Value Added'. In B.J. Fraser and K.G. Tobin (eds) *International Handbook of Science Education*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 1111-1123.
- Thompson, J.J. (ed.): 1918, *Natural Science in Education* (known as the Thompson Report), HMSO, London.
- Tibble, J.W. (ed.): 1966, *The Study of Education*, Routledge & Kegan Paul, London.
- Tobin, K.: 1998, 'Sociocultural Perspectives on the Teaching and Learning of Science'. In M. Larochelle, N. Bednarz and J. Garrison (eds) *Constructivism and Education*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 195-212.
- Tozer, S., Anderson, T.H. and Armbruster, B.B. (eds): 1990, *Foundational Studies in Teacher Education: A Reexamination*, Teachers College Press, New York.
- von Glasersfeld, E.: 1995, *Radical Constructivism. A Way of Knowing and Learning*, The Falmer Press, London.
- Wagner, P.A. and Lucas, C.J.: 1977, 'Philosophic Inquiry and the Logic of Elementary School Science Education', *Science Education* 61(4), 549-558.
- Waks, L.J. (ed.): 2008, *Leaders in Philosophy of Education: Intellectual Self-Portraits*, Sense Publishers, Rotterdam, The Netherlands.
- Yager, R.E. and Penick, J.E.: 1990, 'Science Teacher Education'. In W.R. Houston (ed.) *Handbook of Research on Teacher Education*, Macmillan, New York, pp. 657-673.

